



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
VASA YRKESHÖGSKOLA
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Martti Sakari Mänty

TUOTANNON KEHITTÄMINEN HITSAUSROBOTISOIDUSSA PIENSARJATUOTANNOSSA

Tekniikka ja liikenne

2010

VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU

Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma

TIIVISTELMÄ

Tekijä	Sakari Mänty
Opinnäytetyön nimi	Tuotannon kehittäminen hitsausrobotisoidussa piensarjatuotannossa
Vuosi	2010
Kieli	suomi
Sivumäärä	50 + 5 liitettä
Ohjaaja	Hannu Hyvärinen

Hitsauksen automatisointi yleistyy voimakkaasti niin Suomessa kuin ulkomailla-kin. Hitsaavassa teollisuudessa automatisoinnilla pyritään parantamaan hitsauksen tehokkuutta ja laatua. Automatisoituja hitsausjärjestelmiä tarkasteltaessa hitsausroboti on sekä joustava että tuottava, sopien jopa piensarjatuotantoonkin.

Tutkintotyön kohteena oli Uwira Oy:n keskiraskaan konepajan hitsausrobottisolun tuotannon kehittäminen. Robottisolussa valmistetaan hitsaamalla piensarjoissa putkikomponentteja moottorivalmistajille. Työn tavoitteena oli kehittää vaihtoehtoja hitsausrobotin käyttöasteen tehostamiseksi todettuihin ongelma-kohtiin sekä esittää robottijärjestelmän mahdollisuuksia. Näitä ovat muun muassa aina laatua parantavista järjestelmistä jopa miehittämättömään toimintaan ketterässä hitsausautomaatiossa.

Robottisolun toimintaa on pyritty tarkastelemaan kattavasti. Tämä sen takia, että on saatu hyvin laaja kuva toiminnan nykyhetkestä ja löydetty kehitystä vaativat kohteet, jotka pitävät käyttöasteen vaatimattomana. Robotin käyttöasteen parantamiseksi tärkeimpinä kohteina voidaan pitää robottisolun layoutia ja materiaali-virtaa. Näiden lisäksi työssä on esitetty hitsauskiinnittimien ja operaattorin toiminnan merkitys. Käyttöasteen tehostaminen koostuukin monen pienen parannuksen summasta, eikä tulokseksi ole vain yhtä ratkaisua.

Solun kehittäminen sellaiseksi, että robotin käyttöaste saadaan nostettua hyvälle tasolle, on tärkeää myös tulevaisuuden kannalta. Käyttöastetta parantava kehitystyö on nyt lähes välttämätöntä, mutta saavutettuaan toivotun toiminnantason se on yrityksen laatua ja tehokkuutta parantava kilpailuetu, luoden myös hyvän pohjan tulevaisuuden kehitystä varten.

Asiasanat	hitsaus, robottihitsaus, robottijärjestelmät, hitsauskiinnittimet, layout
-----------	---

VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma

ABSTRACT

Author	Sakari Mänty
Title	Development Of Production In Welding Robotized Short-run Production
Year	2010
Language	Finnish
Pages	50 + 5 Appendices
Name of Supervisor	Hannu Hyvärinen

Automatisation of welding is becoming more common both in Finland and abroad. In welding industry, level of automation is considered to increase both efficiency and quality of welding.

The target of this thesis was development of welding robot cell in Uwira Oy, which is a medium heavy engineering workshop. The company uses a welding robot cell for manufacturing welded pipe components in short-run production for engine manufacturers. The goal of thesis was to generate solutions to increase welding robots operating time ratio, and introduce solutions both for certain black spots and possibilities of robot systems. Those possibilities are among quality improving equipments and unmanned action in flexible manufacturing system.

The operation in a robot cell has been studied very extensively to obtain comprehensive information about the cells' operation in the current situation is very wide, and many targets were found that needed developing. The most important aspects in improving robots' operating time ratio were layout and material flow. Intensifying operating time ratio consists of many small improvements, there is no one big solution for it. Also the function of welding fixtures and action of robot operator were presented in this thesis.

As a result of this thesis was the cell's ability to reach good operating time ratio level was obtained, which is important also for the future. Continuous development work now is almost essential, but when a good level of operation is reached, it will be the company's competitive advantage both in quality and efficiency and will make also good basis for future development.

Keywords	Welding, Welding robot, Robot manufacture systems, Welding fixture, Layout
----------	---

ALKUSANAT

Robottiikka yhdistettynä hitsauksen automasointiin on mielenkiintoinen ja nopeasti kehittyvä ala, joka tarjoaa melkoisia haasteita tuotannon kehittämisessä. Tutkintotyön aiheeksi tämä oli minulle helppo valinta, koska olin saanut työskennellä kyseisessä kohteessa jo aikaisemmin, joten kohde ja toimintatavat olivat jo ennestään tuttuja. Tämä ei kuitenkaan tehnyt työtä helpoksi, vaan se pikemminkin teki työn entistä haasteellisemmaksi. Haasteellinen se olikin, kun yksistään työn määrittely antoi ison liikkumavapauden aihealueessa. Tutkintotyö toteutettiin kevään 2010 aikana sekä etätöinä että tarpeen vaatiessa paikanpäällä. Iso kiitos tutkintotyön joutuisalle etenemiselle kuuluu kaikille, jotka ovat edesauttaneet työn valmistumista.

Vaasassa 8. huhtikuuta 2010

Sakari Mänty

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

ALKUSANAT

1	JOHDANTO.....	8
2	YRITYSESITTELY	9
3	HITSAUS	11
	3.1 Käsite	11
	3.2 Historiaa.....	11
	3.3 MIG/MAG – hitsaus	12
	3.4 MAG – täytelankahitsaus.....	13
4	ROBOTTIHITSAUS	14
	4.1 Hitsauksen automasointi	14
	4.2 MIG/MAG – hitsausrobotin solu Uwira Oy:ssä.....	16
	4.3 Hitsausrobotit.....	17
5	HITSAUSROBOTTIJÄRJESTELMÄT	19
	5.1 FMS.....	19
	5.2 FMS – järjestelmän toteutus ja toiminta	20
	5.3 Railonseurantajärjestelmät	21
	5.4 Hitsauksen aikana tapahtuva railonseuranta	23
	5.4.1 Mekaaninen railonseuranta.....	24
	5.4.2 Sähkömekaaninen railonseuranta	24
	5.4.3 Tunnusteleva railonseuranta.....	24
	5.4.4 Hitsausvirtaan perustuva railonseuranta.....	25
	5.4.5 Optinen railonseuranta	25
6	HITSAUSKIINNITTIMET	26
	6.1 Kappaleiden kiinnitystavat.....	26
	6.2 Hitsauskiinnittimen vaatimukset.....	27
	6.3 Hitsauskiinnittimen suunnittelu	27
	6.4 Uwira Oy:n suorien laippaputkien hitsauskiinnittimen luonnostelu.....	28

7	HITSAUSROBOTIN KÄYTTÖASTE UWIRA OY:SSÄ	30
7.1	Käyttöasteen tehostaminen	30
7.2	Tuotemallin vaihto	31
7.3	Viimeistelyn ja korjauksien osuus tuotteen valmistuksessa	31
8	LAYOUT SUUNNITTELU	35
8.1	Layout suunnittelun vaiheet	36
8.2	Systemaattinen layout suunnittelu	36
8.3	Layout ja materiaalivirta Uwira Oy:n robottisolussa.....	38
8.4	Layoutsuunnittelu Uwira Oy:n robottisoluun	38
8.5	Layoutvaihtoehdot Uwira Oy:n robottisoluun	39
8.5.1	Layoutversio 1	40
8.5.2	Layoutversio 2	41
8.5.3	Layoutversio 3	41
8.5.4	Layoutversio 4	43
8.5.5	Layoutversio 5	44
9	HITSAUSROBOTTISOLUN TOIMINNAN JATKOKEHITYS.....	47
10	YHTEENVETO	48

LÄHTEET

LIITTEET

LIITELUETTELO

LIITE 1 Robottisolun layoutversio 1

LIITE 2 Robottisolun layoutversio 2

LIITE 3 Robottisolun layoutversio 3

LIITE 4 Robottisolun layoutversio 4

LIITE 5 Robottisolun layoutversio 5

1 JOHDANTO

Tämän tutkintotyön tarkoituksena on kehittää Uwira Oy:n vuonna 2008 käyttöönottaman hitsausrobottisolun piensarjatuotantoa. Uwira Oy on vaasalainen keskisuuri konepaja, joka valmistaa hitsausrobottisolussaan pääasiassa putkikomponentteja alihankintana moottorivalmistajille, kuten Wärtsilälle. Valmistettavien tuotteiden sarjakoot ovat pieniä 10–20 kappaleen luokkaa. Työn tavoite on kehittää ratkaisuja hitsausrobotin käyttöasteen tehostamiseksi piensarjatuotannossa. Työn tavoitteena on lisäksi selvittää mahdollisia puutteita ja rajoitteita solun laitteistoissa ja toiminnassa sekä perehtyä robottisolun layoutiin ja materiaalivirtaan. Työssä pyritään löytämään mahdollisia epäkohtia, jotka nykyisellään haittaavat solun tehokasta toimintaa sekä esittämään ratkaisuvaihtoehtoja nimettyihin epäkohtiin.

Työssä käsitellään lisäksi robotisoidun hitsausjärjestelmän ja apulaitteiden mahdollisuuksia, koska hitsauksen automatisointi on nykyään nopeasti kehittyvä ala, jonka käyttömahdollisuuksia kehitellään jatkuvasti lisää. Hitsauksessa robotiikkaa on käytetty jo pidemmän aikaa ja autoteollisuus on ollut tällä saralla uranuurtajana. Uusimpina saavutuksina on laserhitsausrobotit ohutlevyille, jotka on kehitetty korvaamaan perinteiset pistehitsausrobotit. Jatkuvan kehityksen vuoksi on tärkeää tehdä hyvä perusta robotisoidun hitsauksen käytölle, jotta tulevaisuudessa tapahtuva kehitystyö sujuisi mutkattomasti ja laitteiston kilpailukykyisyys säilytettäisiin.

2 YRITYSESITTELY

Uwira Oy on vuonna 1993 perustettu metallialan yritys. Uwira Oy toimii Vaasassa ja tuotantopinta-alaa heillä on 4500 m². Yrityksen päätoimialaan kuuluvat hitsaamalla valmistetut putkistot ja paineilmasäiliöt. Uwira Oy valmistaa asiakkaiden suunnitelmien mukaisia putkistokokonaisuuksia ja putkikomponentteja muun muassa kaas-, polttoaine-, jäähdytysvesi-, voiteluöljy-, ja paineilmaputkistoihin. Yritys toteuttaa myös räätälöityjä osakokonaisuuksia, kuten erilaisia rakenteita sekä esivalmisteita asiakkaan toiveiden mukaan, sisältäen myös mahdollisen suunnittelun.

Uwira Oy on erikoistunut hitsauksen lisäksi putkien kylmätaivutukseen ja muokkaukseen. Heidän konekanta sopii halkaisijaltaan Ø5 – Ø220 mm:n kokoisille ruostumattomille, kuumalujille, tulenkestäville ja niin sanotuille mustille teräsputkille.

Taulukko 1. Muokattavien putkien tekniset tiedot. /13/

Pipe D/mm	Bend R/mm	Degrees	Min./mm straght between bends
6	15		40
8	15		40
10	20		40
12	25		40
13	25		40
15	40		40
16	40		40
18×1,5	40		40
18×3,0	40		90
22	40		90
28	45		90
35	60		90
42	80		90
48	80	<20	120
		>20	50+250×sin(deg)
60	100	<25	150
		>25	70+200×sin(deg)
76,1	114	<30	190
		>30	210+57×sin(deg)
88,9	134	<28	140*
		>28	220
114,3	171		225
139,7×4,0	209		460
168,3×4,5	252		450
219,1×4,5	438		660

*None of the angles in the pipes must not exceed 28 degrees

Uwira Oy:n omana tuotteena ovat korkeapaineiset painelaitteet sekä paineilma- ja maakaasusäiliöt. Paineilmasäiliöt toimitetaan pääasiassa alihankintana moottorivalmistajien tarpeisiin, esimerkiksi Wärtsilä ja MAN. Uwira Oy:llä on paineastioihin PED:n mukainen valmistusoikeus, tarkoittaen painelaitedirektiiviä EN 13445-2.

Taulukko 2. Säiliöiden tekniset tiedot sekä liitäntöjen koot. /13/

AIR VESSEL TYPES					
Size/ litres	Lenght without feet/mm	Lenght with sup- porting feet/mm	Diame- ter/ mm	Weight/ kg	Connections inlet/outlet
125	1260	1463	480	150	DN20/DN30
250	1995	2200	480	205	DN20/DN30
500	3475	3644	480	351	DN20/DN30
1000	2980	3151	800	626	DN20/DN50
1500	3980	4151	800	841	DN20/DN50
2000	4980	5151	800	1051	DN20/DN50
3000	3430	3580	1200	1551	DN20/DN50
3800	3790	4040	1200	1692	DN20/DN50
4800	4640	4890	1200	2023	DN20/DN50

Uwira Oy:llä valmistettavien tuotteiden korkea laatu on välttämätöntä vaativissa olosuhteissa käytettäviin tuotteisiin asetettujen turvallisuusvaatimusten vuoksi. Uwira Oy toimiikin Bureau Veritaksen sertifioimien laadunjohtamisjärjestelmän ISO 9001–2008 ja ympäristöjärjestelmän ISO 14001–2004 mukaisesti. Heidän valmistusmenetelmät ovat hyväksytty muun muassa seuraavien luokitusseurojen toimesta: DNV, BV, LLOYDS, RINA ja GOST. Uwira Oy:llä suoritettavan hitsauksen laatu täyttää SFS-EN ISO 3842-2 ja SFS-EN ISO 14731 vaatimukset.

3 HITS AUS

Hitsaus on kaikkein yleisin menetelmä, kun kyseessä on osien liittäminen toisiinsa. Se on menetelmänä hyvin monipuolinen, soveltuen käytettäväksi lähes minkälaisessa ympäristössä tahansa, kunhan huomioidaan muutama tärkeä seikka:

- kipinäointi eli tulipalon vaara
- haitalliset savukaasut
- menetelmän lämmön kehitys.

Hitsausta menetelmänä voidaan käyttää metalleille ja kestopuoveille. Muoveja hitsattaessa tarvittavat lämpötilat ovat vain huomattavasti matalempia, ollen noin 220 °C.

3.1 Käsite

Standardin SFS 3052 mukaan hitsaus on "osien liittämistä toisiinsa käyttämällä hyväksi lämpöä ja/tai puristusta siten, että osat muodostavat jatkuvan yhteyden". Hitsauksen lämmönlähteinä voidaan käyttää sähkövirtaa, kitkalämpöä, liekkiä, diffuusiota, lasersädettä tai elektronisuihkua. Usein hitsauksessa käytetään lisäainetta, joka on samaa ainetta kuin perusaine tai vaihtoehtoisesti lujempaa. Suurin ero hitsaamisen ja juottamisen välillä on se, että perusaine ei sula juotettaessa. /14/

3.2 Historiaa

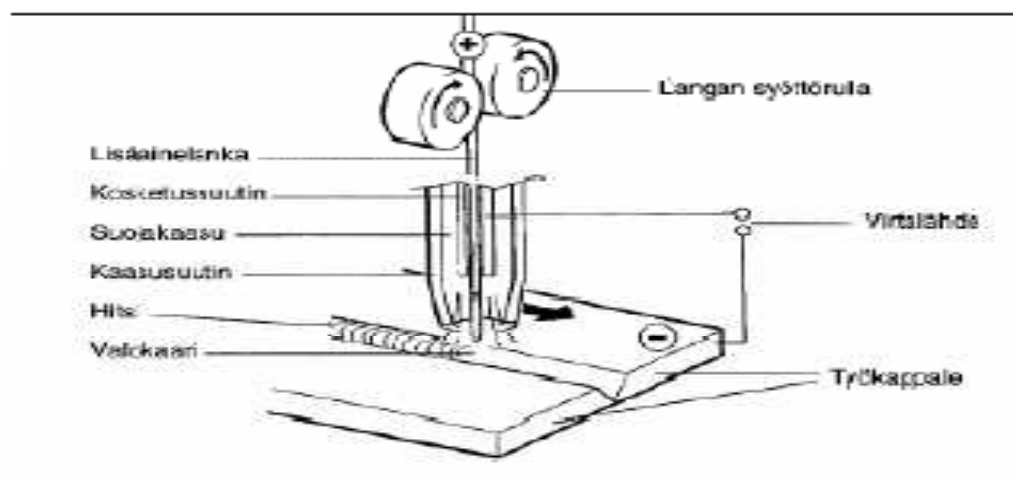
Hitsaus on menetelmänä hyvin vanha. Vanhimmat todisteet hitsausmenetelmistä ovat noin 3000 eKr. sumerilaisten ja egyptiläisten käyttämistä kovajuotto-menetelmistä. Nykyaikaiset hitsausmenetelmät on kehitetty 1800-luvun loppupuolella. Ensimmäinen valokaarta hyödyntävä hitsausmenetelmä patentoitiin 1880-luvun alussa. Patentin teki venäläinen Nikolai Benardos. Muita huomattavia kehitysvaiheita olivat plasmahitsaus 1960-luvulla ja laserhitsaus 1970-luvulla. Ensimmäinen suomenkielinen hitsauksen oppikirja ilmestyi vuonna 1937. Kirjan nimi oli "Metallikaarihitsauksen oppikirja". /12/, /1/

3.3 MIG/MAG – hitsaus

MIG/MAG - hitsauksessa sähkövirran avulla aikaansaatava valokaari palaa lisääinelangan ja hitsattavan kappaleen välissä hitsauskaasun suojaamana. Hitsattaessa valokaari sulattaa perusaineen ja lisääineen, jotka jähmettyessään muodostavat kiinteän kokonaisuuden. Lisäainelanka on ohutta metallilankaa, jonka koostumus on yleensä lähes sama kuin perusaineella. MIG/MAG-hitsauksen kehitti 1940-luvun loppupuolella yhdysvaltalainen Air Reduction Company. MIG-hitsauksessa suojakaasuna on inerttiä kaasua (MIG = Metal Inert Gas), joka ei reagoi hitsisulan kanssa, kun taas MAG-hitsauksessa (MAG = Metal Active Gas) suojakaasu reagoi sulan kanssa.

Inerttejä suojakaasuja ovat esimerkiksi argon ja helium. Aktiivisia suojakaasuja ovat esimerkiksi argonin ja hapen tai argonin ja hiilidioksidin yhdistelmät. Nykysovelluksissa MAG-hitsaus on huomattavasti yleisempää kuin MIG-hitsaus. Etuja MIG/MAG-hitsauksessa ovat esimerkiksi nopeus ja hitsin puhtaus. MIG/MAG-hitsaus on nopeimmin yleistynyt hitsausmenetelmä sen helpon automatisoitavuuden ja sovellettavuuden sekä monien hyvien ominaisuuksien ansiosta. /12/,/1/,/14/

Kuvassa 1 nähdään MIG/MAG-hitsauksen periaatteellinen toimintakuva, ohelaitteiden sijoittelu poikkeaa todellisesta tilanteesta.



Kuva 1. MIG/MAG-hitsauksen periaate. /10/

3.4 MAG - täytelankahitsaus

MAG-täytelankahitsaus muistuttaa toimintaperiaatteeltaan hyvin paljon MAG-hitsausta, jossa hitsauslankana oleva umpilanka on korvattu täytelangalla. MAG-täytelangat voidaan jakaa kahteen pääryhmään, jotka ovat jauhetäytelangat eli 136 kuonaa muodostavat täytelangat ja 135 metallitäytelangat eli kuonattomat langat. Tyypillisin jauhetäytelanka on asentohitsattava rutiilitäytelanka. Rutiilitäytelangat hitsataan kuumakaarella kaikissa asennoissa nopeasti jähmettyvän kuonan ansiosta, jolloin asentohitsaus on tehokasta. Metallitäytelanka taas soveltuu tehokkaaseen jalko- ja alapienahitsaukseen. MAG -täytelankahitsaus soveltuu hyvin mekanisoituun hitsaukseen suuren tuoton ja asentohitsattavuuden ansiosta. /10/

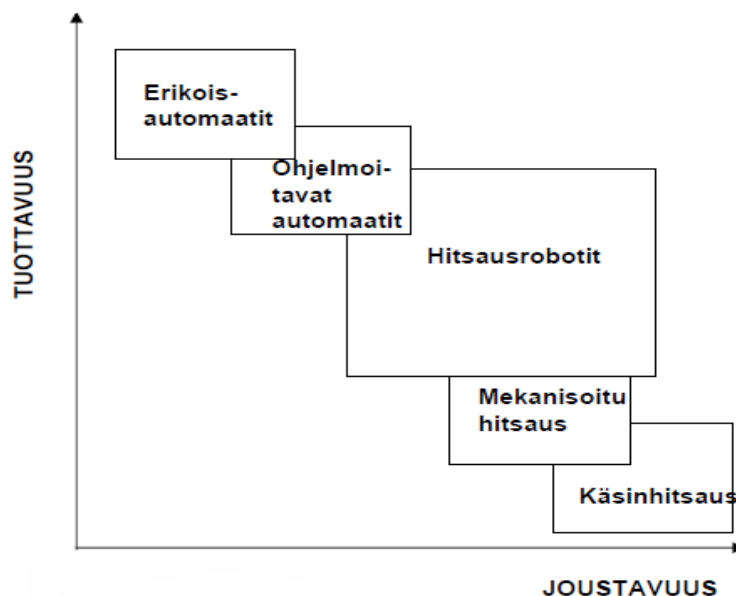
4 ROBOTIHITSAUS

Robottihitsaus on automatisoitua hitsausta, jonka suorittaa robotti. Robotti suorittaa ohjelmoidut toiminnot ohjailleen käsivartensa päähän sijoitettua hitsauspoltinta. Yleisimmin robottihitsauksessa käytettävä menetelmä on MAG-hitsaus, mutta nykyään on myös laser-hitsaus yleistynyt ja joitain TIG-sovelluksiakin on tehty. Ajoneuvoteollisuudessa paljon käytetty menetelmä on pistehitsaus. Tämä menetelmä soveltuu parhaiten ohutlevyjen liittämiseen toisiinsa hitsipisteillä.

4.1 Hitsauksen automasointi

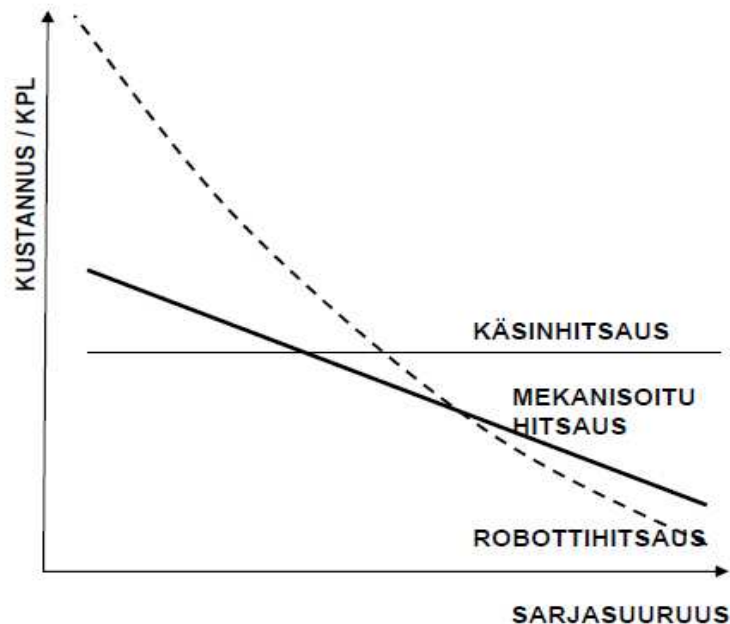
Tänä päivänä hitsauksen automatisointi yleistyy jatkuvasti. Tärkeimpiä automatisoinnilla tavoiteltavia etuja ovat raskaiden, vaarallisten tai yksitoikkoisten työtehtävien välttäminen, tasalaatuisuuden ylläpitäminen ja kapasiteetin kasvattaminen, esimerkiksi tuotantonopeuden tai miehittämättömien tuotantojaksojen lisäyksellä. Suomessa suuri tekijä automatisoinnissa ovat myös kalliit palkka- ja henkilökustannukset sekä mahdollisesti tulevaisuudessa pula ammattitaitoisista työntekijöistä.

Kuviosta 1 voidaan havaita hitsausrobotin olevan sekä joustava että tuottava, sopien hyvin monenlaisiin suoritettaviin töihin



Kuvio 1. Mekanisointitaso / tuottavuus. /4/

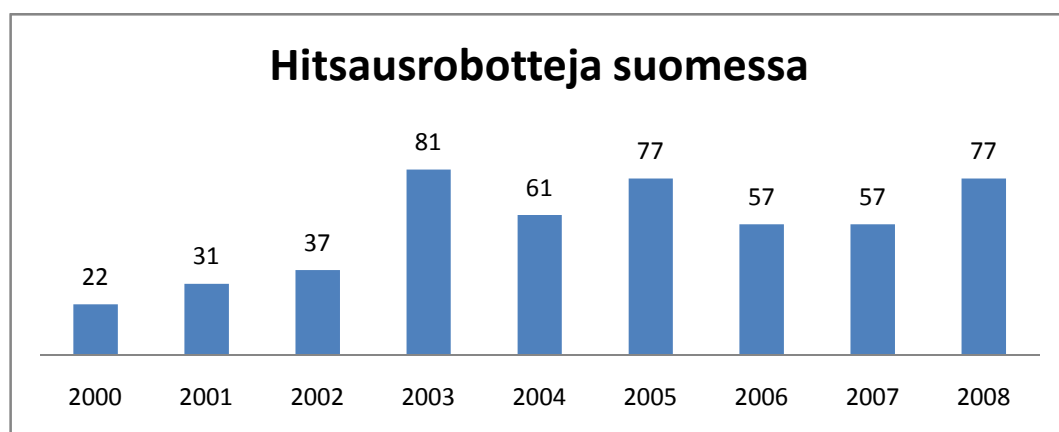
Kuviossa 2 nähdään sarjasuuruuden vaikutus kustannuksiin mekanisointitason kasvaessa. Kuvaajasta huomataan, että robotin edut kasvavat sarjakoon kasvaessa.



Kuvio 2. Mekanisointitaso / kustannus/kpl. /4/

Robottien suhteelliset hinnat ovat pudonneet noin puoleen viimeisten 15 vuoden aikana. Ominaisuudet ovat myös parantuneet roimasti tietotekniikan ja ohjausteknologian kehityksen myötä. Tämä yhdistettynä siihen tosiasiaan, että tuotantovaatimukset ja palkat Suomessa jatkavat tasaista nousuaan tekevät hitsausautomaation yhä kiinnostavammaksi vaihtoehdoksi.

Taulukko 3. Hitsausrobottien määrä suomessa, kpl/vuosi. /15/

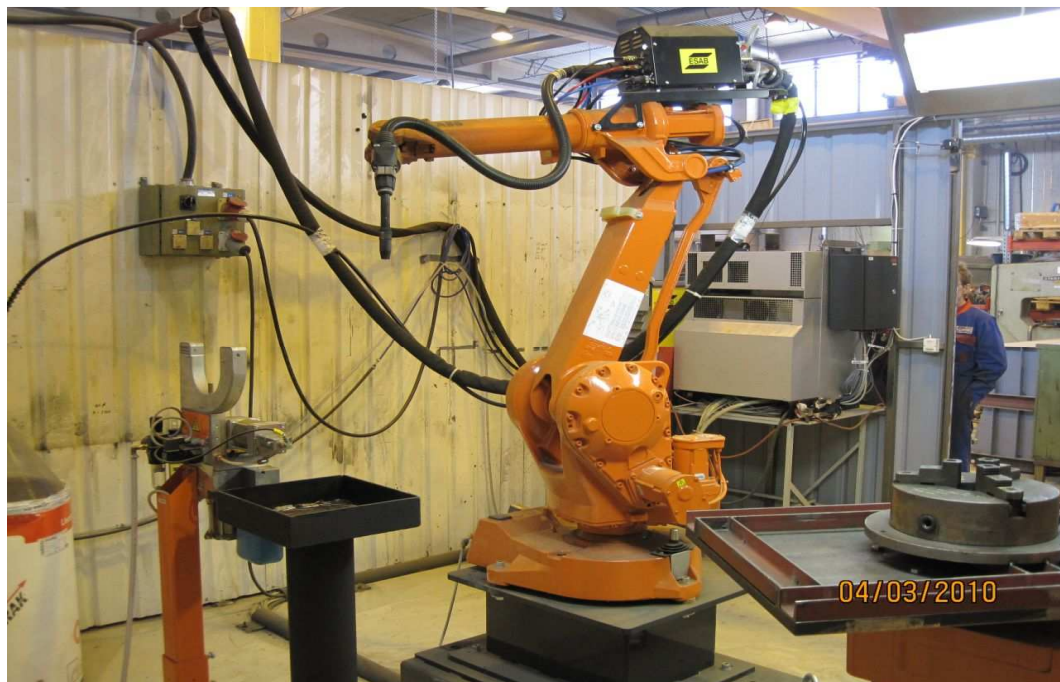


4.2 MIG/MAG – hitsausrobottisolu Uwira Oy:ssä

Uwira Oy:n hitsausrobottisolussa on kääntöpöytä keskellä ja robotti hieman reunempana siten, että kääntöpöydän toinen pöytä on robotin ulottuvilla. Hitsausvirtalähde ja robotin keskusyksikkö on sivussa suojassa mahdollisilta roiskeilta. Kummankin yksikön johdotukset menevät pintavetoina robotille. On olemassa myös sellaisia ratkaisuja, joissa kaapelit ovat integroituna kulkemaan robotin rungon sisällä.

Robottisolussa on seinät ympärillä, jotka suojaavat muita työntekijöitä valokaaren aiheuttamalta säteilyltä ja savukaasuilta. Robottisolun yläpuolella on myös savuimuri, joka poistaa solusta suurimman osan savukaasuista. Kääntöpöydässä on kaksi hitsauspöytää, joten käyttäjä voi vaihtaa toiseen pöytään uuden hitsattavan osan, kun robotti hitsaa toisella pöydällä olevaa osaa. Robotin operaattori kuittaa pöydän olevan valmis käännettäväksi robotille, kun uusi hitsattava osa on valmis hitsattavaksi. Kääntö on ohjelmoitu toteutumaan vasta sitten, kun robotin ohjelma on tullut loppuun ja robotti on sijoittunut kotiasemaan.

Kuvassa 2 nähdään Uwira Oy:n hitsausrobotti sijoittuneena kotiasemaansa.



Kuva 2. Uwira Oy:n hitsausrobotti.

Kuvassa 3 on Uwira Oy:n hitsausrobotisolu robotin operaattorin puolelta. Pöytään on kiinnitetty hitsauskiinnittimiä hitsattavia tuotteita varten.



Kuva 3. Uwira Oy:n hitsausrobotin kääntöpöytä.

4.3 Hitsausrobotit

Hitsauksessa automatisointi mahdollistaa tasaisen laadun. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että robotilla ei ole erilaisia päiviä, vaan laatu on laitteiden toimiessa tasaista. Toisaalta taitava käsihitsaaja saa aikaan hyvissä olosuhteissa parhaimmillaan laadukkaampaa jälkeä. On myös sellaisia hitsauskohteita, joita robotilla ei ole mahdollista hitsata, esimerkiksi vaikean sijainnin takia. Robotin heikkona puolena voidaan myös pitää sen standardoitujen parametrien mukaista hitsaustapaa. Robotti ei välttämättä havaitse railon seurannalla railossa esiintyviä tilavuuseroja tai muita vastaavia railonpoikkeamia, jotka käsihitsaaja pystyy havaitsemaan ja kompensoimaan hitsatessaan. Kuitenkin, jos hitsausrailo on hyvin valmisteltu, esimerkiksi-

telty ja parametrit ovat kohdallaan, saadaan hitsausrobotilla usein aikaan paremman näköinen ja -laatuinen hitsi kuin käsihitsauksessa. /1/

Hitsausrobotilta vaadittavia ominaisuuksia ovat muun muassa helppo ja nopea ohjelmoitavuus, nopeat siirtoliikkeet, hyvä liitettävyys oheislaitteisiin ja suuri työalue. Hyvän lopputuloksen saavuttamiseksi myös hitsausnopeuden pitää pysyä vakiona ja robotin pitää kyetä pitämään hitsauspää halutussa asennossa koko työalueella, vaikka liikerata olisi monimutkaisempikin. /8/

Kuvassa 4 on hitsausrobotin keskustietokone vasemmalla, hitsausvirtalähde oikealla ja käyttöliittymä keskellä



Kuva 4. Uwira Oy:n ABB-hitsausrobotin käyttöliittymä.

5 HITS AUSROBOTTIJÄRJESTELMÄT

Hitsausrobottijärjestelmillä tarkoitetaan usein järjestelmää, joka on kehitetty helpottamaan robotin operaattorin toimintaa. Esimerkiksi hitsausrobotin apuna voisi olla toinen robotti palvelemassa ja kääntelemässä hitsattavaa kappaletta. Tällainen ratkaisu toisi etuja ja säästöjä, esimerkiksi hitsauskiinnittimen muodossa sekä monipuolistaisi robottisolun mahdollisuuksia.

5.1 FMS

Robottihitsauksen tehostamiseksi on kehitetty hitsausrobottijärjestelmiä, kuten FMC ja FMS. Nämä järjestelmät lisäävät hitsausrobotin joustavuutta ja tuottavuutta, koska tuotteita voidaan hitsata piensarjoissa, jopa yksittäiskappaleina. Tällaisessa järjestelmässä hitsattavat kappaleet ladotaan esimerkiksi palettiin, joka sijoitetaan automaattiseen välivarastoon. Paletti kuljettaa tuotteet robotille, joka lataa automaattisesti oikean ohjelman. Hitsauksen jälkeen tuote kuljetetaan takaisin välivarastoon ja paletti voi kuljettaa uuden tuotteen hitsattavaksi. Näin robotti voi toimia miehittämättömänä ja operaattorin työpanosta tarvitaan vain palettien lataukseen ja ohjelmointiin. Tällaisen järjestelmän haittana on, että jokaista kappaletta varten joudutaan valmistamaan oma palettikiinnitin, joten kiinnitinkustannukset voivat kohota korkeiksi. /9/

Kiinnitinongelmien ratkaisuksi on kehitetty ketterää hitsausautomaatiota, jolla pyritään minimoimaan asetusajat ja kustannukset jatkuvasti muuttuville ja hyvinkin pieninä sarjoina valmistettaville tuotteille. Järjestelmässä hitsausrobotin apurobotti poimii hitsattavat osat ja asemoi ne hitsausrobotin hitsauspöydälle silloitushitsausta varten. Tämän jälkeen hitsausrobotti jää suorittamaan varsinaista hitsaus-työtä ja apurobotti poimii seuraavan tuotteen tai hitsattavat osat. Robottipari voi toimia miehittämättömänä ympäri vuorokauden, jolloin se tehokkaasti hyödynnettyä vastaa 10–20 käsihitsaajan työpanosta. Tällaisessa järjestelmässä apurobottia voidaan käyttää myös osien esikäsittelyihin ja viimeistelyyn. Kustannuksena apurobotti vastaa noin 10 perinteistä hitsauskiinnitintä. /9/

5.2 FMS - järjestelmän toteutus ja toiminta

Ketterä-järjestelmään kuuluvan apurobotin käyttö tuo useita haasteita valmistukseen. Ketterän robottiautomaation kriittisiä osa-alueita ovat:

- ohjelmointitekniikan kehittäminen nopeaksi ja helpoksi
- yleiskäyttöisten kiinnittimien, tarraimien ja robottityökalujen kehitystyö
- apurobotin paikoitustarkkuus
- hitsausmuodonmuutosten hallittu huomioonottaminen.

Opettamalla ohjelmointi on hidasta ja se keskeyttää tuotannon, joten se ei tule kyseeseen ketterässä hitsausjärjestelmässä. Etäohjelmointi onkin ainoa järkevä ohjelmointitapa ketterässä järjestelmässä. Etäohjelmoinnilla tarkoitetaan yleensä 3D-ympäristöön rakentuvaa mallipohjaista ohjelmointijärjestelmää. Robotin työkalun asento ja etäisyys määräytyvät tuotteesta tehdyn 3D-mallin perusteella. Etäohjelmoinnilla tehdyn robottiohjelman tarkkuus on suoraan riippuvainen sekä itse robottihitsausjärjestelmästä tehdyn simulointimallin että tuotteista ja kiinnittimistä tehtyjen 3D-mallien totuudenmukaisuudesta.

Kiinnitin- ja tarrainsuunnittelun lähtökohtana on oltava joustavuus. Tarkat paikoitusmekanismat, hitsattavuus, pikalukitukset sekä helposti liikuteltavat vastin- ja kiinnityspinnat ovat hyviä suunnittelun lähtökohtia. Kiinnittimet tulee suunnitella tarpeen vaatiessa hitsaukseen ja/tai silloituksen mukaan, mutta ei pidä unohtaa apurobotin käyttömahdollisuuksia toimia kiinnittimenä.

Robotin tarkkuudessa suhteessa koordinaatistoonsa voi olla useiden millimetrien heittoa ja pitkillä työkaluilla jopa kymmeniä millimetrejä. Vastaavasti toistotarkkuudella tarkoitetaan robotin tarkkuutta liikkua ohjelmallisesti opetettuun pisteeseen. Tavallisen kokoonpanotyöhön soveltuvien, kuormankantokyvyltään 100–300 kg:n, nivelrobottien toistotarkkuus on luokkaa $\pm 0,3\text{mm}$. Toisin sanoen, jos apurobotille on opetettu hitsattavan osan paikoituspiste voidaan uskoa, että robotti tuo myös seuraavan osan samaan kohtaan robotin toistotarkkuuden puitteissa. To-

dellisuudessa asia ei kuitenkaan ole näin yksinkertainen, sillä muun muassa osien valmistustarkkuudesta ja tarraimen paikoitustarkkuudesta riippuen osien poiminnan ja paikoituksen epätarkkuus kasvaa. Paikoitustarkkuutta voidaan parantaa esimerkiksi hitsauksen railonhaun kaltaisilla tekniikoilla.

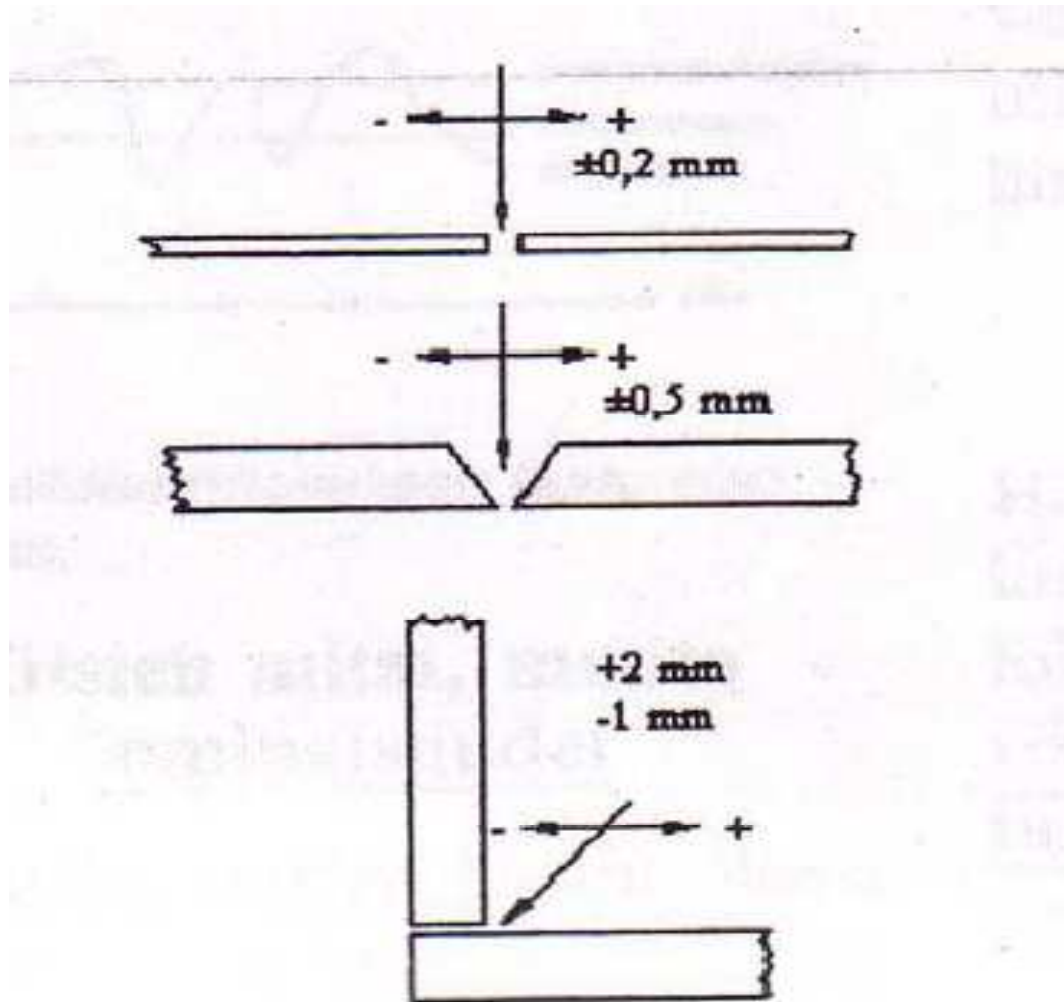
Hitsauslämmön aiheuttamien muodonmuutoksien ennalta määrittely on yksi hankalimmista asioista. Nykyaikaisilla suunnittelujärjestelmillä pystytään arvioimaan lämpövaikutuksia, mutta ei kuitenkaan riittävän tarkasti. Tähän liittyvät kutistumat ja taipumat, joiden vaikutuksesta mallinnusohjelmalla tehty malli ja oikea hitsattava tuote, eivät voi olla edes teoriassa täysin samanlaisia. Tämä lisää osaltaan epätarkkuutta mallipohjaiseen etäohjelmointiin. Apurobottia käyttämällä pystytään hallitsemaan vapaat muodonmuutokset siten, että ensimmäisen hitsauskerran jälkeen mitataan osan muodonmuutokset ja muuttamalla osan paikoitusta muodonmuutoksen verran sivuun. Tällöin saadaan seuraavilla hitsauskerroilla osa asettumaan haluttuun kohtaan. /3/

5.3 Railonseurantajärjestelmät

Robottihitsauksen laadunvarmistus voidaan jakaa hitsaustapahtumaa edeltävään, hitsauksen aikaiseen ja hitsauksen jälkeiseen tarkastukseen. Robottihitsaus vaatii hitsattavilta komponenteilta paljon tarkempaa mittatarkkuutta kuin käsihitsaus. Yleisesti toimivin ja halvin ratkaisu on pyrkiä vakioimaan hitsausta edeltävät työvaiheet. Robotisoinnin avulla hitsaus päästään vakioimaan, jolloin hitsauksen laatuun vaikuttavat asiat siirtyvät hitsausta edeltäviin työvaiheisiin ja suunnitteluun. Robotisoidun hitsauksen onnistuminen vaatii tarkkuutta railonvalmistukselta. Hitsausrailojen sijaintivirheet eivät ole lopputuloksen kannalta niinkään merkittäviä kuin railogeometrian tai – tilavuuden eroavaisuudet. /17/

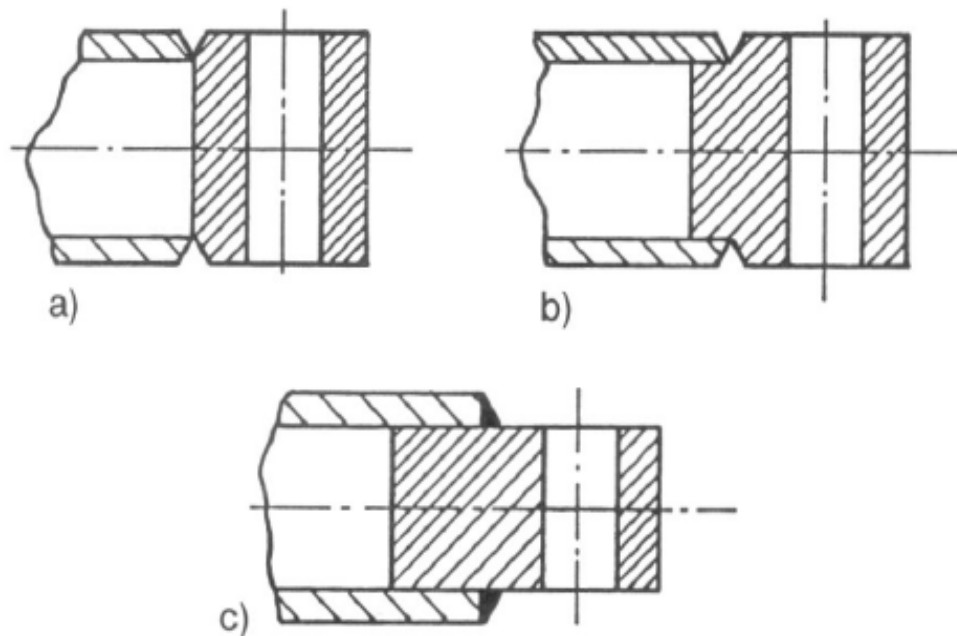
Toisaalta tänä päivänä hitsausrobottien hitsausparametrien seurantajärjestelmät ovat kehittyneet varsin merkittävästi. Suunnittelussa tulisi aina pyrkiä suosimaan pienaliitoksia. Jos päittäisliitosta on käytettävä, on suositeltavaa tehdä hitsaus juuriteka vasten tai korvata päittäisliitos päällekkäisliitoksella. Huonoin vaihtoehto

on käyttää päittäisliitosta I-railoon, jolloin mahdolliset railonseurantatoiminnot vaikeutuvat ja hitsivirheiden todennäköisyys kasvaa. Kuvassa 5 on esitetty railotoleranssivaatimukset 2–10 mm:n ainesvahvuusalueella. /9/



Kuva 5. Railotoleranssien suuruusluokka robottihitsauksessa. /17/

Kuvassa 6 on esitetty päittäisliitokselle korvaavia liittämistapoja, jotka parantavat robottihitsattavuutta.



Kuva 6. a) päittäisliitos
b) rakenne muutettu juurituelliseksi
c) päittäisliitos korvattu pienaliitoksella. /4/

5.4 Hitsauksen aikana tapahtuva railonseuranta

Hitsauksen aikainen laadunvarmistus tarkoittaa yleensä hitsausparametrien mittausta ja railonseurantaa. Lisäksi railon tilavuuden määrittäminen on uusimpia laadunvarmistusmenetelmiä. Mittausohjelmajärjestelmät mittaavat yleisimpiä hitsausparametreja. Automatisoitujen hitsausjärjestelmien tehokas hyödyntäminen edellyttää toimivaa railonseurantaa. Nykyään tavoiteltaessa tehokkaampaa ja kustannuksiltaan edullisempaa hitsaustoimintaa lisäävät hitsausnopeuden kasvattaminen tuoton lisääminen tai railogeometrian kasvattaminen huomattavasti railonseurannalle asetettavia vaatimuksia. Yleisimpiä railonseurantajärjestelmiä ovat hitsauspäällä tapahtuva railopintojen tunnistelu ja optisella anturilla tapahtuva railon sijainnin määrittäminen. Railonseurantajärjestelmät on tavallisesti jaoteltu käytettävän anturin

mukaan. Railonseuranta tarkoittaa niitä toimia, joilla hitsauspäättä ohjataan hitsattavan kappaleen mukaan määräytyvää rataa pitkin. /5/

5.4.1 Mekaaninen railonseuranta

Mekaaniset anturit toimivat siten, että railoon tai sen suuntaiseen ohjauspintaan koskettava ohjaava elin ohjaa perässään kulkevaa hitsauspoltinta hitsaussuuntaan kohtisuorassa ja mahdollisesti myös korkeussuunnassa. Hitsauspoltin ja anturi ovat kiinteästi kytketyt toisiinsa, mutta ovat uivasti kiinnitetyt hitsauspään kannattimeen. Järjestelmä on yksinkertainen ja luotettava, mutta soveltuu vain päistään avoimille ja suhteellisen suorille railoille. /6/

5.4.2 Sähkömekaaninen railonseuranta

Sähkömekaaninen railonseuranta perustuu sähkömekaanisiin antureihin. Niiden toimintaperiaate on hyvin samankaltainen kuin mekanisoitujen antureidenkin, mutta niissä hitsauspää ja anturi eivät ole uivasti kytketty kannattimeen. Anturin toiminta voi olla joko analoginen tai digitaalinen. Digitaalisen anturin antamasta signaalista käy ilmi vain korjauksen suunta. Analogisen anturin antamasta signaalista käy ilmi sekä korjauksen suunta että suuruus. /6/

5.4.3 Tunnusteleva railonseuranta

Sähköiseen kosketukseen perustuvassa anturijärjestelmässä hitsauspoltin itse toimii tunnustelevana elimenä. Hitsauselektrodiin johdetaan jännite, ja kuljettamalla elektrodiä vuorotellen kumpaakin railon kylkeä kohti etsitään kohdat, joissa läpilyönti tapahtuu. Koskettavana elimenä voi toimia myös kaasusuutin. Railon paikka etsitään muutamasta kohdasta hitsin mitalta ennen hitsausta ja näin saatu hitsausrata tallennetaan muistiin. Menetelmän haitta on se, että se ei pysty ottamaan huomioon hitsauksen aikana tapahtuvia muutoksia, mutta tällä menetelmällä voidaan hitsata myös päistään suljetut hitsit. /6/

5.4.4 Hitsausvirtaan perustuva railonseuranta

Valokaaren käyttö anturina perustuu hitsausvirran vaihteluun kontaktisuuttimen ja työpisteen välisen etäisyyden vaihdellessa. Menetelmää voidaan soveltaa railonseurantaan joko poikkeuttamalla valokaarta railossa tai käyttämällä kahta erillistä valokaarta. Valokaaren poikkeutus railossa voidaan toteuttaa joko magneettisesti tai mekaanisesti vaaputuksella. /6/

5.4.5 Optinen railonseuranta

Uusinta railonseurantateknologiaa edustaa optinen railonseuranta, joka perustuu laserviivasta generoitavaan railoprofiiliin ja profiilin perusteella suoritettavaan laskentaan. Optiset anturit voidaan jakaa kolmeen pääryhmään: valointensiteettiä mittaavat, strukturoitua valoa käyttävät ja hitsisulan muotoa tarkastelevat anturit. Uusilla algoritmeilla voidaan vähentää merkittävästi, esimerkiksi MIG-hitsauksen aikaisten roiskeiden tai savun aiheuttamia häiriöitä railonseurannassa. Tämä järjestelmä mahdollistaa myös virtasuuttimen sivusuuntaisen asemoinnin, automaattisen korkeuden seurannan sekä palkojärjestyksen optimoinnin selkeän visuaalisen poikkileikkausprofiilin ansiosta. /6/

6 HITSAUSKIINNITTIMET

Automatisoidussa hitsauksessa kiinnittimen vaatimukset ovat huomattavasti korkeammat kuin käsihitsauksessa. Kiinnittimen tarkkuudesta riippuu suoraan hitsattun tuotteen tarkkuus ja hitsausvirheettömyys. Esimerkiksi joissain tapauksissa hitsauskiinnitin asemoi hitsattavat kappaleet railoineen ja hitsauksen suorittaa laite ilman railonseuranta. Tämä johtaa tilanteeseen, jossa tarvitaan erinomaiset hitsauskiinnittimet tai railonseuranta.

6.1 Kappaleiden kiinnitystavat

Automatisoitu hitsaus vaatii yleensä hitsattavien osien paikoittamista toistuvasti samaan asentoon. Paikoituksen tarkkuutta vaaditaan erityisesti silloin, kun käytössä ei ole railonhaku- tai seurantalaitteita.

Kappaleen hitsaaminen kiinnittimen avulla voidaan järjestää ainakin seuraavilla neljällä tavalla:

- Kappale silloitetaan manuaalisesti silloituskiinnittimessä. Tämän jälkeen kappale asetetaan toiseen, varsinaiseen hitsauskiinnittimeen.
- Kappale silloitushitsataan robotilla kiinnittimessä. Tämän jälkeen joitakin kiinnittimen osia poistetaan, jotta saadaan kappale hitsattua loppuun.
- Osat paikoittuvat kiinnittimeen automaattisesti ja kappale hitsataan kerralla valmiiksi.
- Levyosiin on leikkauksen yhteydessä tehty paikoittavia elimiä, jolloin kiinnittimen rakenne yksinkertaistuu.

Silloituskiinnittimen käyttö on tarpeellista, jos kappaleen valmistukseen liittyy luoksepäästävyysongelmia. Silloituskiinnittimen käyttö kuitenkin lisää työvaiheita valmistusprosessissa ja pidentää läpimenoaikaa. /11/

6.2 Hitsauskiinnittimen vaatimukset

Hitsauskiinnittimen suunnittelussa tärkeitä huomioonotettavia asioita ovat muun muassa:

- mittatarkka rakenne
- yksiselitteinen paikoittaminen
- luoksepäästävyys
- optimaalinen hitsausasento
- oikean railogeometrian saavuttaminen
- tukeva kiinnitys
- hitsauslämmön vaikutuksen huomioonottaminen
- helppo ja nopea asetus
- nopea ja tarkka uudelleenasetus kappaleenkäsittelylaitteeseen
- keveys
- kulumisen huomioonottaminen kiinnityspisteissä
- roiskeiden ja epäpuhtauksien vaikutusten poistaminen
- maadoitus
- työturvallisuus. /11/

Yksinkertainen lataus ja purku ovat hyvän kiinnittimen avainseikat ja jalostamattomien työvaiheiden vähentäminen tulee olla kiinnittimen tarkoitus. Kappaleen muodonmuutokset on ehdottomasti otettava huomioon suunnittelussa, ettei synny lukittuvaa rakennetta. Joissain yksinkertaisissa tapauksissa kappaleen lämpölaajenemista voidaan simuloida. Muodonmuutokset on myös otettava huomioon lopullisen kappaleen mittatarkkuudessa. /7/

6.3 Hitsauskiinnittimen suunnittelu

Yleisesti hitsauskiinnittimen suunnitteluun on olemassa hyviä neuvoja. Virtuaalinen kiinnitinsuunnittelu lisää suunnittelutyön joustavuutta. Mallinnettua kiinnitintä voidaan simuloida käytettävien koneiden ja kappaleiden kanssa virtuaaliympä-

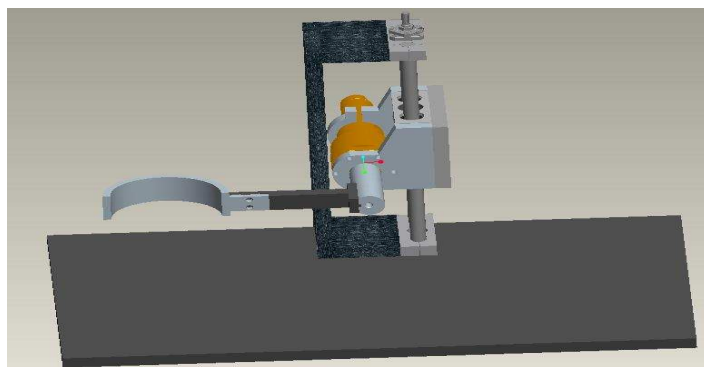
ristössä, mikä vähentää turhaa työtä ja kustannuksia. Suunnittelijan on kuitenkin tunnettava oikea hitsausprosessi, jotta kiinnitintä on mahdollista suunnitella. Joustavuutta on esimerkiksi se, että kiinnitinkomponentit voidaan sijoittaa hitsattavan kappaleen ympärille ennen varsinaisen tukevan rungon suunnittelua. /7/

6.4 Uwira Oy:n suorien laippaputkien hitsauskiinnittimen luonnostelu

Luonnostelun lähtökohtana oli suunnitella hitsauskiinnitin, joka toimisi hitsaus- ja silloituskiinnittimenä, jolloin etukäteen suoritettua silloitusta ei tarvitsisi tehdä. Tämä poistaisi luonnollisesti kokonaan silloituksen työvaiheena tuoden merkittävää ajallista ja taloudellista säästöä.

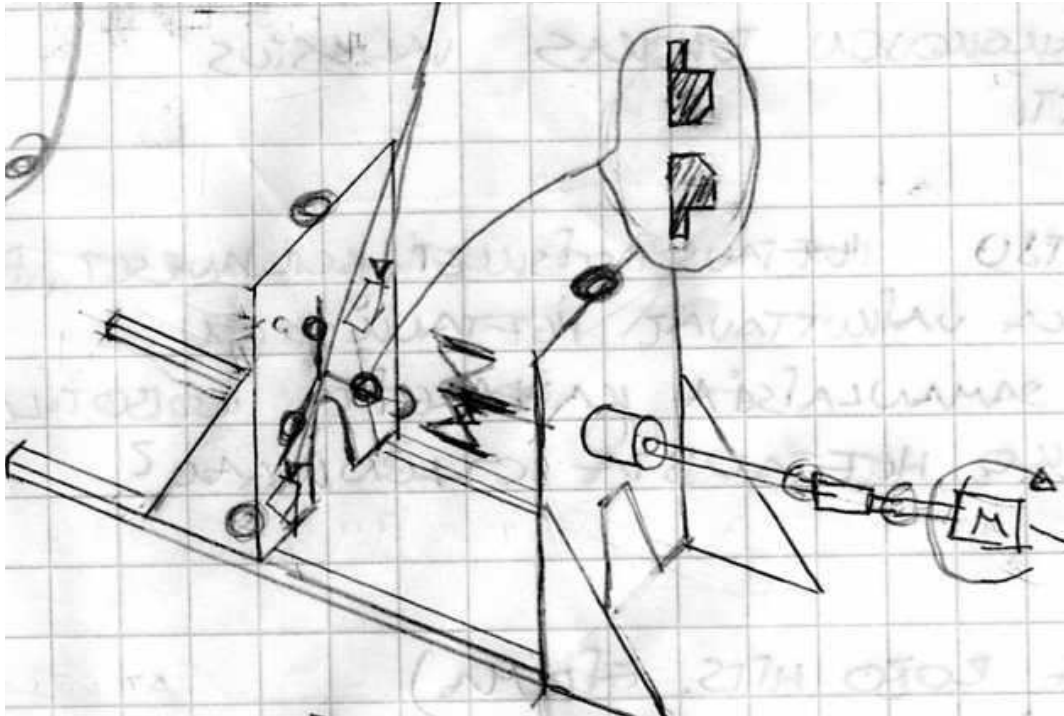
Alla olevassa kuvassa 7 on eräs hitsauskiinnittimen luonnos. Kiinnitin toimii siten, että etukäteen suoritettua silloitusta ei tarvita. Kiinnittimellä hitsataan yksinkertaisia laippaputkia eli kokonaisuuksia, jotka koostuvat putken palasta ja kahdesta laipasta. Laipat asemoidaan pöytään niille suunnitelluille paikoilleen, johon rajoittimet ne ohjaavat ja putki kiinnitetään kiinnitinpakkaan. Toinen puoli silloitetaan ja hitsataan. Tämän jälkeen putki ja edellisessä vaiheessa hitsattu laippa käännetään pneumaattisella moottorilla toiselle puolelle, missä on toinen vielä hitaamaton laippa. Nyt tämä laippa silloitetaan ja hitsataan. Kaikki nämä vaiheet tapahtuvat robotin ohjaamana.

Kuvassa 7 nähdään hitsauskiinnittimen luonnos, jossa kääntölaitteena on pneumaattinenmoottori.



Kuva 7. Hitsauskiinnittimen 1. luonnos.

Toisena luonnoksena kuvassa 8 on hieman erilainen lähestymistapa aiheeseen. Kiinnitin toimii siten, että hitsattavat laipat asennetaan päätykappaleisiin ja putki keskellä olevaan levittimeen. Osat silloitetaan yhteen ja levittimen päässä oleva servomoottori ohjaa silloitetun paketin pyörimään. Kaikki tapahtuu robotin ohjaamana ja etukäteen suoritettua silloitusta ei tarvita.



Kuva 8. Hitsauskiinnittimen 2. luonnos.

7 HITS AUSROBOTIN KÄYTTÖASTE UWIRA OY:SSÄ

Nykyisellä järjestelmällä Uwira Oy:ssä robotin käyttöaste on 15 %:n luokkaa eli varsin vaatimaton. Yleensä robotisoiduissa järjestelmissä tulisi pyrkiä 100 % käyttöasteeseen ja 60–90 % kaariaikasuhteeseen. Vastaava kaariaikasuhde käsihitsauksessa on 15–35 %:a, eli robotin pitäisi hitsata kolmen käsihitsaajan verran.

Vaativamman käyttöasteen syy johtuu siitä, että robottisolun operaattoria kuormitetaan nykyisellä järjestelmällä liikaa eli operaattori määrää robotin työtahtin. Osansa liialliseen kuormitukseen tekee nykyinen robottisolun layout ja materiaa-
livirta.

Taulukossa 4 robotin käyttöastetta hyvin kuvaava esimerkki robottioperaattorin ajankäytöstä valmistettaessa 10-kappaleen sarja yksinkertaista laippaputkea robot-
tihuittuna.

Taulukko 4. Robottioperaattorin ajankäyttö.

TYÖVAIHE	AJAN KÄYTTÖ /h
Työmääräyksen saaminen	0
Hitsattavien komponenttien etsiminen	0,25
Silloituskiinnittimen etsiminen	0,25
Silloitus	2,25
Hitsaus robotilla	1,5
Viimeistely ja korjaukset	3,25
Pesu	0,25
Lähetys	0,25
YHTEENSÄ	8

Taulukosta 4 havaitaan, että robotti työskentelee 1,5 h kahdeksan tunnin aikana. Jolloin käyttöaste on luokkaa 15 % ja kaariaikasuhde ~10 %.

7.1 Käyttöasteen tehostaminen

Käyttöasteen tehostamisen perustana on robottioperaattorin työtehtävien määrittäminen ja hänen tehtävien huomattava helpottaminen. Optimaalisessa tilanteessa robot-

tioperaattori huolehtii vain ja ainoastaan siitä, että robotilla on hitsattavaa eli suoritettava työ on kappaleiden ja kiinnittimien vaihtoa sekä ohjelmointia.

Nykyisellä järjestelmällä robottisolun työtehtävät voitaisiin jakaa kolmeen osaan:

- silloittaja
- operaattori
- viimeistelijä.

Riippuen hitsattavan tuotteen kaariajasta operaattori ja viimeistelijä voisivat olla sama henkilö, jolloin operaattori pystyisi suorittamaan viimeistelyä tuotteiden hit-sausaikoina.

Tällaisella järjestelyllä robotin käyttöaste saataisiin nostettua ~70 – 100 %:n tasol-le, mutta robotin tuomaa hyötyä hukataan siihen, jos solua hoitaisi kolme työntekijää. Aikaisemmin on todettu, että robotti hitsaa kolmen käsihitsaajan verran.

Toinen parempi järjestely perustuu siihen, että käytetään sellaisia hitsauskiinnittimiä, että etukäteen tehtyä silloitusta ei tarvita. Tällöin robottisolua tarvitaan hoitamaan vain kaksi työntekijää: operaattori ja viimeistelijä. Tällainen ratkaisu toisi yhden ylimääräisen hitsaajan työpanoksen verran hyötyä. Kappaleessa 6.4 esitetyn hitsauskiinnitinluonnos yhden takaisinmaksuajaksi tulisi noin kaksi viikkoa. Olet-taen kiinnittimen hinnaksi varusteineen noin 2000 euroa ja työntekijän maksavan yritykselle noin 26 euroa/tunti sekä tehtävien tuotteiden menekiksi niin suuri, että silloittajaa tarvitaan 8 h/päivä.

$$\textit{Takaisinmaksuaika} = \frac{\textit{Hitsauskiinnittimen hinta}}{\textit{Työntekijän kustannukset/tunti}}$$

$$\textit{Takaisinmaksuaika} = \frac{2000 \textit{ e}}{26 \textit{ e/tunti}} = 76,9 \textit{ tuntia} \approx 2 \textit{ työviikkoa}$$

Vastaavasti kappaleen 6.4 kiinnitinluonnos kahden takaisinmaksuaika on hieman pidempi, mikä johtuu kiinnittimen monimutkaisemmasta rakenteesta. Takaisinmaksuaika pysynee kuitenkin varsin lyhyenä.

7.2 Tuotemallin vaihto

Tuotemallin vaihto on piensarjatuotannossa usein toistuva työvaihe. Tuotemallin vaihto robotille käsittää useimmiten hitsauskiinnittimien ja ohjelman vaihdon. Näiden työvaiheiden tulisi olla lyhyitä, koska niillä on suora vaikutus robotin käyttöasteeseen ja tuottavuuteen. Itse ohjelmien vaihto on melko vaivaton toimenpide, jos ohjelmat ovat nimetty yksiselitteisesti ja robotin käyttäjä on osaava henkilö.

Hitsauskiinnittimien vaihtoa nopeuttaa hyvä robottisolun layout, jossa kiinnittimet on varastoitu lähelle käyttökohdetta, josta ne ovat helposti otettavissa käyttöön sopivilla nostoapuvälineillä. Kiinnittimien lukitus pöytään tulisi olla nopea, helppo, yksinkertainen ja yksiselitteinen. Kiinnittimien vaihtojen määrää voidaan merkittävästi vähentää käyttämällä useita kiinnittimiä samassa pöydässä, kuten kuvassa 9 tai yleiskiinnittimen käytöllä, kuten kolmileukakiinnitin kuvassa 10.



Kuva 9. Neljä hitsauskiinnittintä robotin hitsauspöydässä.

Yleismallinen kiinnitin soveltuu usean erikokoisen putken hitsauskiinnittimeksi, kuten kuvassa 10, kyseinen kiinnitin on kelvollinen usean erimallisen tuotteen kiinnittimeksi. Pahimmat epäkohdat ovat luoksepäästävyudessa hitsattaessa laippaputkia joihin vaaditaan neljä hitsisaumaa.



Kuva 10. Yleismallinen hitsauskiinnitin robotin hitsauspöydällä.

Tämän hetken järjestelmällä kiinnittimien vaihdossa eniten vie aikaa layoutiin perustuvat asiat. Raskaita kiinnittimiä joudutaan liikuttelemaan pitkät matkat, noin seitsemän metriä yhteen suuntaan. Kiinnittimien vaihtoa pystyttäisiin huomattavasti nopeuttamaan sijoittamalla niiden varastopaikka mahdollisimman lähelle käyttökohdetta sekä kehittämällä kiinnittimille sopiva nostoapuväline.

7.3 Viimeistelyn ja korjauksien osuus tuotteen valmistuksessa

Kuten taulukosta 4 huomataan tuotteen viimeistelyyn ja korjauksiin kuluu merkittävästi aikaa. Tämä johtuu siitä, että käsin silloitetut tuotteet eivät ole riittävän mittatarkkoja ja työstömenetelmistä sekä komponenteista, joissa on liian suuret

toleranssit. Esimerkiksi vannesaha, jolla usein putket sahataan, aiheuttaa liian suuret mittavaihtelut eri kappaleiden välillä, johtuen osaksi sahanterän vetelystä ja sahaa käyttävän henkilön tarkkuudesta. Robottihitsattavien tuotteiden tarkkuus, kun ei käytetä railonseurantajärjestelmää, tulisi olla lähes koneistustasoa. Tarkoitetaan kymmenesosamillien railon heitoista kappaleiden välillä, joka on korkeintaan $\pm 0,2\text{mm}$ I-railolla.

Tarkastellaan esimerkkinä robotilla usein hitsattavaa vesiputki + c-laippa yhdistelmää. Tämän tuotteen puoli V-railon railon heitto saadaan asetettua $\pm 0,2\text{ mm}$:iin noin 80 %:lla hitsattavista tuotteista. Mutta kelvollisia tuotteita, joita ei tarvitse korjailla hitsausvirheiden takia, on vain noin 10–20 %:a. Tämä johtuu osaksi siitä, ettei silloituskohdista varsinainen hitsi ei pääse kunnolla tunkeutumaan läpi. Toinen syy on hitsattavan putken ympyrämuotoisuuden heitto. Vaikka railonheitto olisi toleranssin rajoissa niin silloitetussa osassa on usein muotovirhettä, eli laipan ulkoreuna ja putken ulkoreuna porrastavat. Tämä aiheuttaa sen, että hitsi ei tunkeudu halutulla tavalla läpi ja juuri jää auki. Asia voitaisiin korjata suunnittelemalla liitostyyppi uudestaan, niin että voitaisiin hitsata pienahitsinä tai nykyisellä järjestelmällä käyttää juuritukea ja pykälän verran korkeampia hitsausarvoja.

Tuotteen mallista riippuen, osaksi viimeistelyyn kulutettu aika johtuu hitsausroiskeiden poistosta. Nykyisellä järjestelmällä hitsausroiskeet poistetaan käsityökaluja apuna käyttäen. Hitsausroiskeita aiheuttaa robotin tavallaan virheelliset hitsausarvot sekä käytettävän vaaputuksen taajuus. Roiskeiden määrään voidaan merkittävästi vaikuttaa käytettävillä hitsausarvoilla ja hitsausasunnoilla. Hyvien hitsausparametrien löytäminen vaatii vain käytännön testausta ja hakemista. Tämä on hyvin aikaa vievää työtä, mutta hyvin palkitsevaa ja tuottavaa onnistuessaan.

8 LAYOUT SUUNNITTELU

Layout suunnittelulla tarkoitetaan pohjapiirroksen luomista. Teollisessa käytössä se tarkoittaa yleensä tehtaan erilaisten prosessien sijoittelua sopiviin suunniteltuihin paikkoihin tehdashallin pohjapiirroksessa. Layout on käsitteenä laaja. Se saattaa olla pienimuotoinen toimistosuunnittelu tai tehdasrakennuksen pohjapiirros. Layoutin tarkoituksena on visualisoida suunnitelmat, jotta ne ovat helpompia toteuttaa, muokata ja ennalta nähdä mahdolliset virheet.

Layout suunnittelu on monivaiheinen prosessi, johon vaikuttaa suuri määrä erilaisia tekijöitä. Tuotantojärjestelmän layout on aina kompromissi, koska kaikkien tekijöiden suhteen optimaalista ratkaisua ei yleensä ole löydettävissä.

Layout suunnittelun keskeisenä tavoitteena on materiaalivirtojen tehokas suunnittelu. Materiaalin kuljetuskerrat ja matkat pyritään minimoimaan osastojen ja työpisteiden sijoittelua suunniteltaessa. Tuotannon ohjauksen ja toiminnan kehittämisen kannalta on myös edullista sijoittaa toisiaan seuraavat työvaiheet siten, että materiaalivirrat ovat mahdollisimman selkeät.

Mahdolliset muutostarpeet pitää ottaa huomioon erityisesti vaikeasti siirrettävien koneiden ja laitteiden sijoittelussa. Maalauslinjat, tuotantolinjat, raskaat koneet ja kiinteät varastorakennelmat on sijoitettava siten, etteivät ne haittaa layoutin myöhempiä kehittämistä. /16/

Hyvän layoutin ominaisuuksia ovat seuraavat:

- kaikki layoutiin vaikuttavat tekijät on huomioitu
- materiaalia liikutetaan niin vähän kuin mahdollista
- valmistus etenee yhdensuuntaisena virtana
- kaikki tilat on tehokkaasti käytetty
- työturvallisuus ja työtyytyväisyys on otettu huomioon
- layout on helposti ja joustavasti muutettavissa.

8.1 Layout suunnittelun vaiheet

Layout suunnittelu toteutetaan vaiheittain. Projektin laajuudesta riippuu, kuinka hyvin jokainen vaihe käsitellään. Jokaiseen kohtaan käytettävä työ tulee miettiä etukäteen omien prioriteettien mukaan. Layout suunnittelussa on tärkeää edetä oikeassa järjestyksessä mahdollisimman hyvän lopputuloksen aikaansaamiseksi. Suunnittelun eri vaiheita ovat:

- tavoitteiden asettaminen
- tehtävän raja
- ideaaliratkaisujen etsintä
- toteutuskelpoisten ratkaisuiden kehitys
- ratkaisun valinta
- toteutus ja jälkitarkastus.

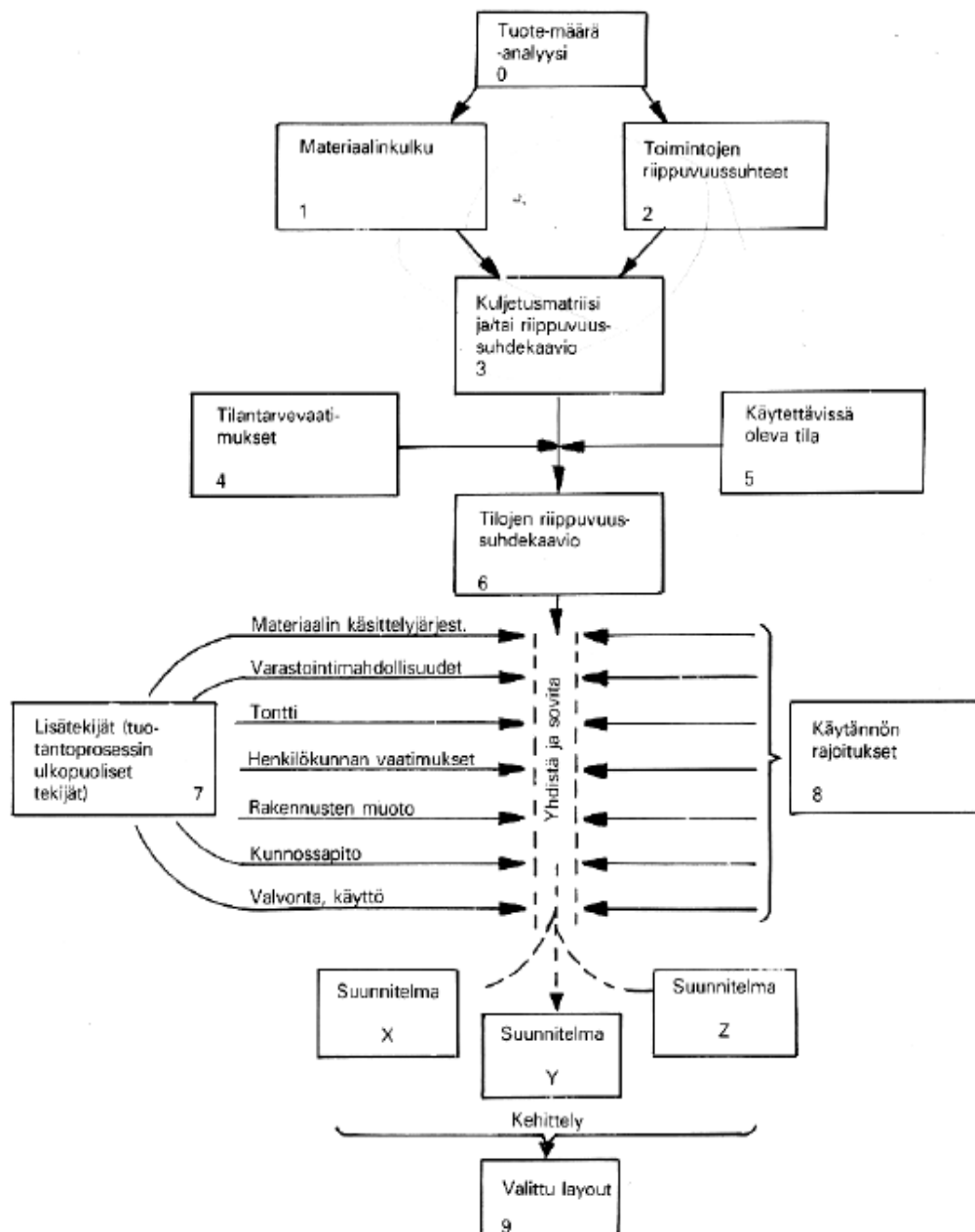
8.2 Systemaattinen layout suunnittelu

Systemaattisen layout suunnittelumallin käytön tarkoituksena on varmistaa, että suunnittelussa tehtävät suoritetaan oikeassa järjestyksessä ja kaikki tehdassuunnitteluun vaikuttavat asiat otetaan huomioon suunnittelun aikana. Kuvio 3 esittää systemaattisen layout suunnittelumallin ja suunniteltavien vaiheiden toteuttamisen järjestyksen.

Systemaattinen tehdassuunnittelumalli rakentuu vaiheista, jotka suoritetaan mallin mukaisessa järjestyksessä. Suunnittelun vaiheissa 0-3 pyritään määrittelemään ja yhdistämään materiaalinkulku ja muut toimintojen riippuvuussuhteet, joiden avulla saadaan rakennettua karkea suunnitelma tehtaan toiminnan toteuttamiseksi. Seuraavaksi vaiheissa 4-6 määritellään tarvittavat ja käytettävissä olevat tilat. Vaiheissa 0-3 rakennettu tehtaan toiminnan kokonaismalli yhdistetään vaiheissa 4-6 määritettyihin tilan tarvevaatimuksiin vaiheessa kuusi tilojen riippuvuuskaaviossa, jossa on nyt huomioitu materiaalinkulku, tilantarvevaatimukset ja toimintojen muut riippuvuussuhteet. Vaiheissa 7-8 määritellään suunnittelun lisätekijät ja käytännön rajoitukset. Nämä rajoitukset yhdistetään edelliseen vaiheeseen ja tämän pohjalta kehitetään 3-5 erilaista layout vaihtoehtoa. Näistä vaihtoehtoista

valitaan yksi, jonka kehittämistä jatketaan vaiheessa yhdeksän yksityiskohtaisessa suunnittelussa. /2/

Kuviossa 3 systemaattisen tehdassuunnittelun ajatusmalli vaiheineen ja riippuvuuksineen. Kyseinen malli soveltuu niin pieneen solukohtaiseen suunnitteluun kuin isompaan tehdas suunnitteluunkin.



Kuvio 3. Tehdassuunnittelun ajatusmalli. /2/

8.3 Layout ja materiaalivirta Uwira Oy:n robottisolussa

Robottisolun layout ja materiaalivirta eivät nykyisellään palvele tehokkaalla mahdollisella tavalla robottisolun toimintoja ja oheistoimintojen aiheuttamaa materiaa-
livirran tarpeita.

Nykyisellään robottisolun operaattori hoitaa itse kaiken materiaalivirran joka koskee robottisolua. Tehtävien tuotteiden komponentteja voidaan joutua etsimään kohtuuttoman pitkiä aikoja. Tarkoituksenmukaista olisi muuttaa solun layoutia siten, että tarvittavat komponentit ja välineet olisivat mahdollisimman lähellä myös huomioiden sen, että raskaita osia ei tarvitsisi kantaa ollenkaan. Esimerkiksi robotilla käytettäviä kiinnittimiä liikutellaan liian pitkät matkat ja sama koskee hitsattavia kappaleita, jotka ovat myös raskaita käsin liikuteltaviksi.

8.4 Layoutsuunnittelu Uwira Oy:n robottisoluun

Toteutuksen suunnittelu on vaikein vaihe, koska suunnittelussa täytyy huomioida monta eri muuttujaa:

- kappaleiden siirtomatkat ja paino
- solun hyllyköt
- robotin vaatima tila
- toiminnallisuus
- työntekijöiden määrä solussa, jos silloitus suoritetaan siellä.

Tarkoituksenmukaista olisi luoda vähintään kolme erilaista layoutvaihtoehtoa ja näistä voitaisiin valita paras mahdollinen jatkokehittelyä varten.

Robottisolu koostuu suorakaiteenmuotoisesta tilasta, joka on jaettu kahtia. Toisella puolella on robotin työskentelyalue ja toisella puolella on robotin operaattorin alue. Suunnittelussa keskitytään robotin operaattorin työskentelyalueeseen ja materiaalivirtaan. Lisäksi solussa on puominosturi helpottamassa raskaiden kappaleiden käsittelyä, mutta puutteena on oikeanlaisten nostoapuvälineiden puuttuminen. Nostoliina on hyvä yleisnostoapuväline, mutta ei täysin turvallinen nosteltaessa raskaita kiinnittimiä.

8.5 Layoutvaihtoehdot Uwira Oy:n robottisoluun

Nykyisellään robottisolun operaattorin puolella on työpöytä, hitsauskoneet, hitsauskiinnittimiä naulakoissa ja silloituskiinnittimiä lattialla. Tämä edesauttaa layout suunnittelun vapautta, koska ennestään olevat rakenteet on hyvin vähäiset.



Kuva 11. Robottisolun operaattorin työympäristöä.

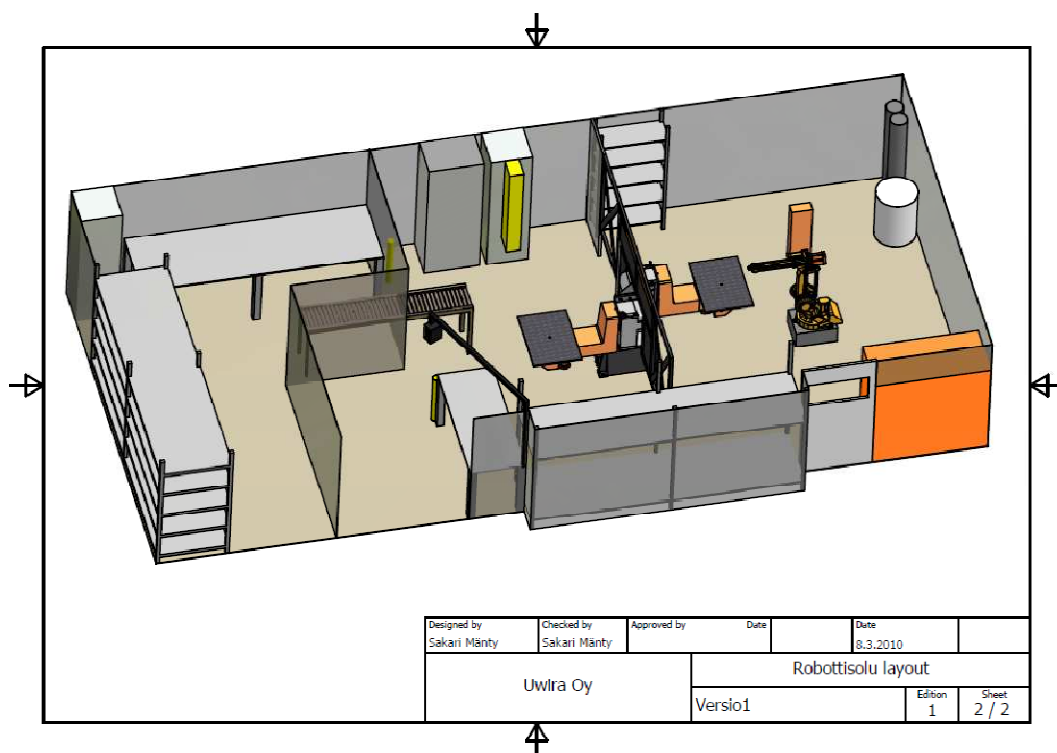


Kuva 12. Robottisolun operaattorin työympäristöä.

Layout suunnittelussa on pyritty ensisijaisesti huomioimaan toiminnallisuus operaattorin näkökulmasta. Suunniteltuja vaihtoehtoja on neljä, joista osa on suunniteltu toteutettavaksi pienellä panostuksella ja toiset hieman suuremmalla.

8.5.1 Layoutversio 1

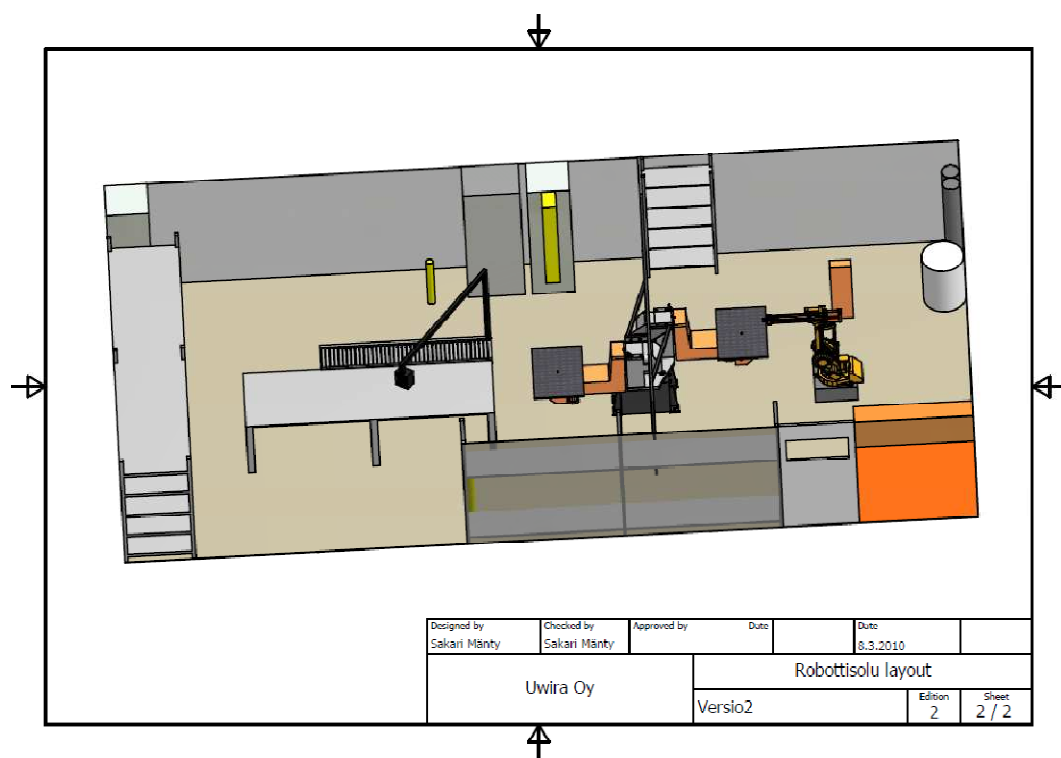
Tässä layoutvaihtoehdossa on materiaali- ja silloituskiinnitinhylly sijoitettu silloituspöydän viereen. Silloituspöydän vieressä on rullarata, jota pitkin voidaan silloitetut tuotteet ohjata hitsauspöydän läheisyyteen. Hitsauspöydän vieressä on viimeistelypöytä, jossa hitsatut tuotteet voidaan viimeistellä. Robotin hitsauskiinnittimet on sijoitettu robotin viereen mahdollisimman lähelle käyttökohdettaan. Hyllyn koko on riittävä usealle kiinnittimelle kahdessa tasossa. Operaattorin tila on jaettu kahtia hitsausverholla, jotta silloituksesta aiheutuva valokaaren säteily ei häiritse operaattorin toimintaa. Käyttöpaneeli on sijoitettu sopivaan paikkaan, jotta sen käyttö on vaivatonta.



Kuva 13. Layoutversio 1.

8.5.2 Layoutversio 2

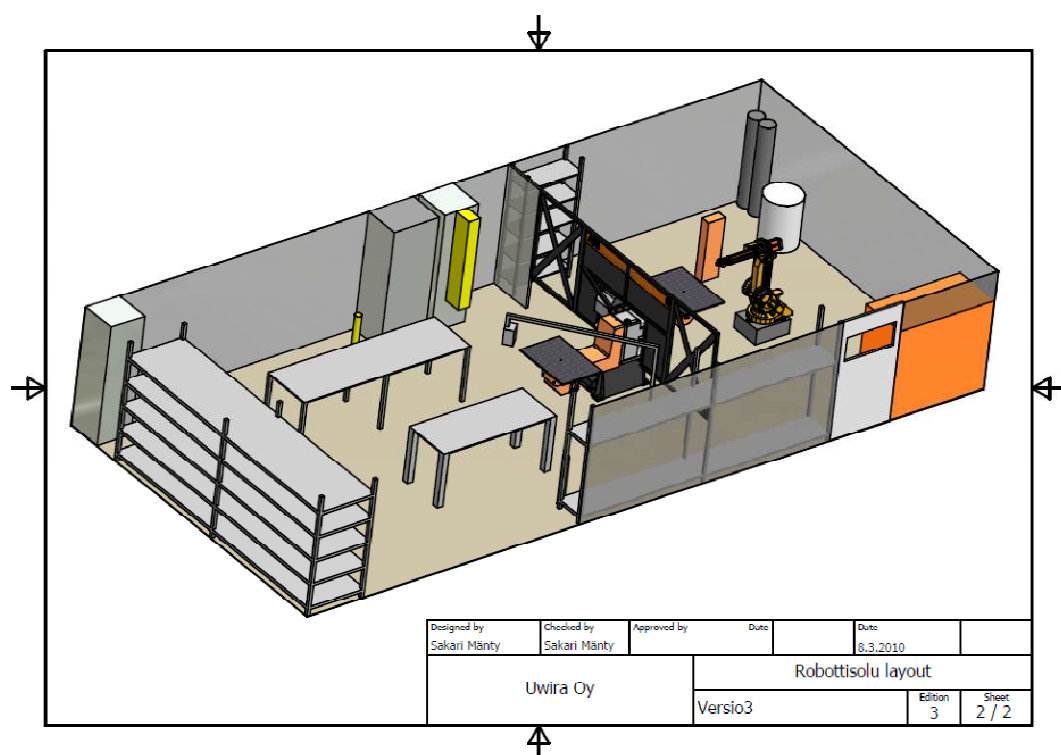
Tämän version muutokset ovat edullisimmasta päästä. Olemassa oleva työpöytä on hyödynnetty silloitus- ja viimeistelytoimintaan. Pöydän vieressä on rullarata jolla tuotteita voidaan helposti ohjata lähelle hitsauspöytää. Materiaali ja silloituskiinnitinhyllä on mahdollisimman pitkä. Robotin hitsauskiinnitinhyllä on kavennettu, jotta olemassa olevaa seinää ei tarvitse muuttaa.



Kuva 14. Layoutversio 2.

8.5.3 Layoutversio 3

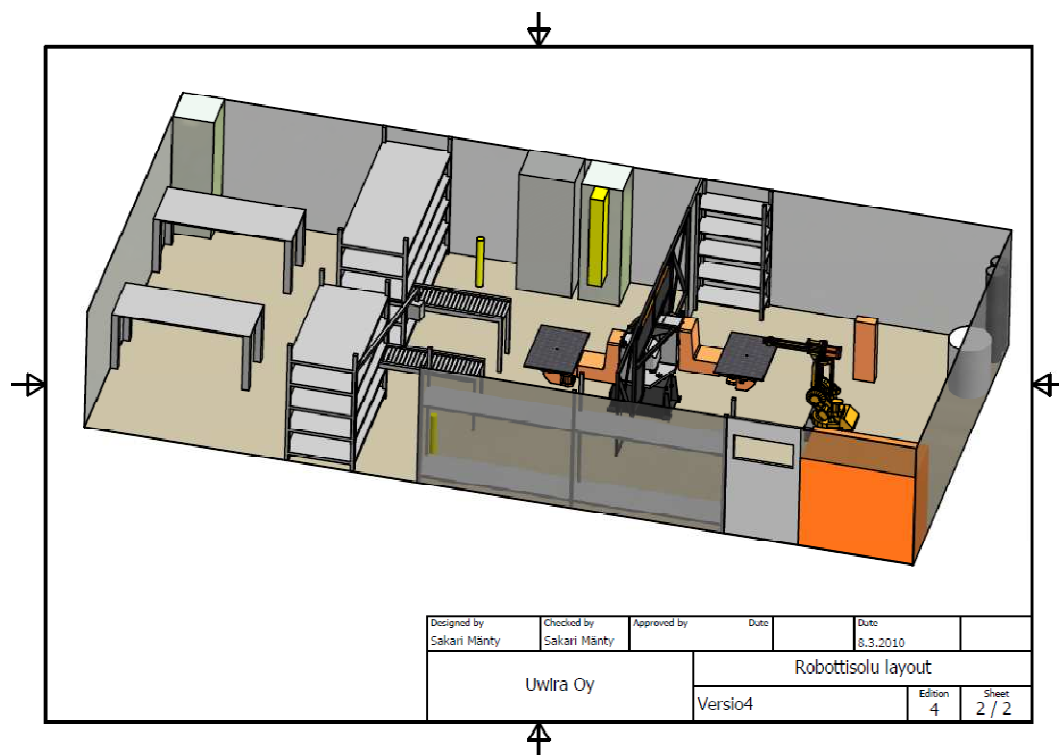
Tässä layoutversiossa työpöytä ja viimeistelypöytä ovat erillisinä ja rullarata on poistettu. Muutoin toiminta vastaa versiota 2. Materiaalivirta kulkee siten, että tavara lähtee päädyn tarvikehyllystä pidemmälle silloituspöydälle. Tuotteen ollessa silloitettu, se nostetaan robotin hitsauspöydälle ja sieltä viimeistelypöydälle, kun tuote on hitsattu valmiiksi. Viimeistelypöydältä tuote nostetaan trukkilavalle tai muulle vastaavalle jolla se kuljetetaan jatkokäsittelyyn.



Kuva 15. Layoutversio 3.

8.5.4 Layoutversio 4

Tämä layoutvaihtoehto on muista edellisistä versioista poikkeavin. Materiaali ja silloituskiinnitinhyllly on keskellä operaattorin tilaa. Päädyssä ovat silloituspöytä ja viimeistelypöytä. Näiltä pöydiltä materiaalivirta robotin hitsauspöydälle toimii rullaratojen välityksellä, jotka kulkevat materiaalihylllyn lävitse. Robotin hitsauskiinnitinhyllly on kuten kahdessa edellisessä versiossa. Tämä layoutversio voisi olla hyödynnettävissä apurobotin kanssa siten, että apurobotti sijoitetaan rullaratojen väliin ja robotti hoitaisi kappaleiden vaihdot.

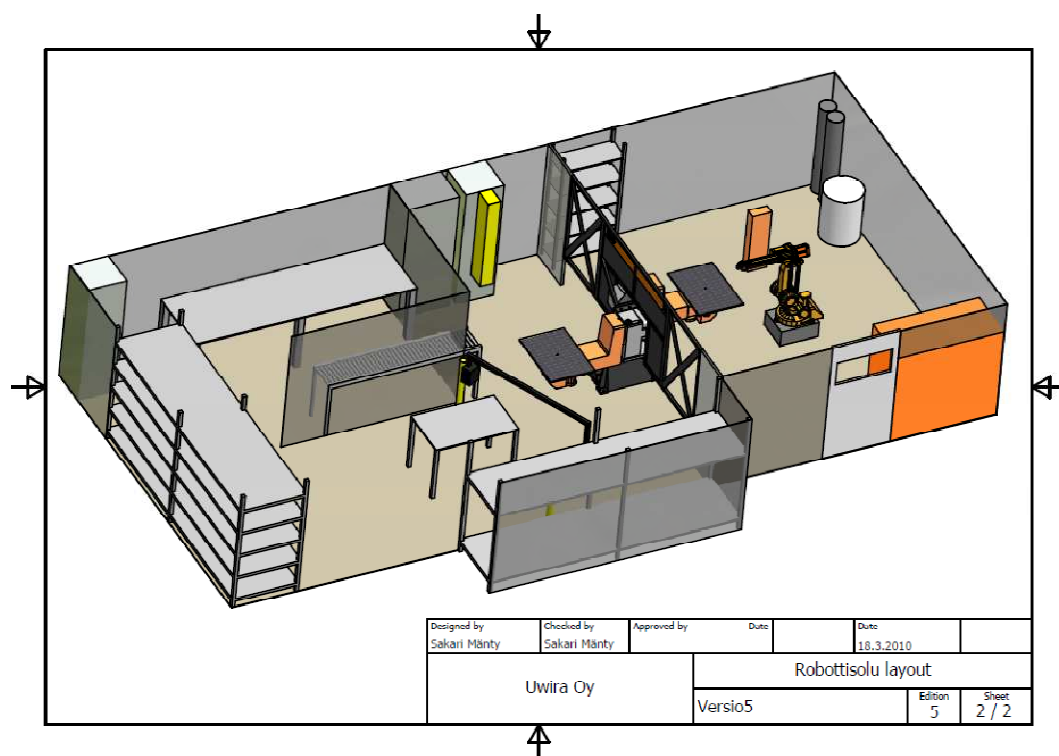


Kuva 16. Layoutversio 4.

8.5.5 Layoutversio 5

Aikaisempien neljän version perusteella valitsimme Uwira Oy:n edustajien kanssa kehityskelpoisimmat ideat, jotka olivat versio 1 ja versio 3. Heidän toivomuksena oli, että tehtäisiin eräänlainen yhdistelmä näistä kahdesta ehdotuksesta, koska kummassakin oli sellaisia piirteitä, joita toivotaan tulevalta layoutilta.

Tässä layoutversiossa materiaalihylly on solun päädyssä ja työpöytä on sivuseinässä kiinni. Materiaalivirta kulkee materiaalihyllyltä työpöydälle ja sieltä rullaradan välityksellä robotin hitsauspöydälle. Hitsauspöydältä tuotteet nostellaan viimeistelypöydälle viimeisteltäviksi ja sieltä, esimerkiksi trukkilavalle, kohti jatkokäsittelyä, joka on lähetys tai tarvittaessa pesu.



Kuva 17. Layoutversio 5.

Päädyssä oleva materiaali- ja silloituskiinnitinhylly tulisi olla sellainen, että siinä pystyisi säilyttämään trukkilavoilla materiaaleja ja silloituskiinnittimiä. Eräs vaihtoehto hyllyksi on trukkilavahyllykkö laatikostokiskoilla, jossa on vain normaalin

hyllyn rangat ja laatikostokiskot, joiden päälle voidaan trukkilavat nostaa. Hyllyn täytyy olla myös niin sanottu läpihylly eli tavaraa pystytään käsittelemään molemmin puolin hyllyä.

Seinustalla olevana silloituspöytänä käytetään teräspöytää. Tähän käyttöön tulisi hyödyntää olemassa olevaa pöytä, jonka koko tulee tarkistaa tarpeen mukaan. Pöydän varustukseen kuuluu ruuvipenkki, paineilmatyökalut, käsityökalut ja hitsaustarvikkeet koneineen. Työkalut tulee sijoittaa ergonomisesti pöydälle sopiviin paikkoihin esimerkiksi työkalutauluun ja sopiville hyllyköille pöydällä.

Rullaratana voidaan hyödyntää standardirataa, joka on 2-3 metriä pitkä. Rullaradan rullajako tulee tarkistaa huolellisesti rataa valittaessa, jotta tuotteet liikkuisivat radalla esteettömästi. Radan päädyissä tulee olla pääty- ja reunaesteet, jotta tuotteet eivät pääse putoamaan.

Viimeistelypöytänä on teräspöytä tai teräsrunkoinen pöytä puukannella. Pöydän jaloissa tulee olla lukittavat pyörät siirtelyn helpottamiseksi. Viimeistelypöydän läheisyydessä tulee olla tarvittavat työkalut sopivilla paikoilla. Tarvittavia työkaluja ovat ainakin paineilmakarahiomakone ja taltta. Pöydäksi voidaan hyödyntää olemassa olevaa saksinostinpöytää, jossa on rullat kannessa ja pyörät alla. Pöydän soveltuvuutta robotin hitsauskiinnittimien vaihtoon tulisi kokeilla käytännössä robotisolun operaattorin toimesta, koska teoriassa vaihto pitäisi onnistua helposti pöydässä olevien rullien ja nosto-ominaisuuden ansiosta. Toinen vaihtoehto robotin hitsauskiinnittimien vaihtamiseksi on solussa oleva puominosturi, näistä kahdesta kiinnittimien vaihtotavasta operaattori valitsee käytännöllisemmän. Saksinostinpöydän koko on 1800×1000 mm:ä, pöydän kannessa olevat rullat tulee peittää levyllä, kun suoritetaan viimeistelyä. Pöydän levyksi sopii esimerkiksi vaneri tai ohutlevy sopivin jäykistein.

Hitsausrobotin hitsauskiinnittimet sijoitetaan solun reunustalla olevaan kaksitasoiseen hyllyyn. Hylly tulee olla sopivalla etäisyydellä robotin hitsauspöydästä, jotta kiinnittimien vaihto sujuisi mahdollisimman nopeasti. Sijoituksessa otetaan huo-

mioon myös tila, jonka robottisolun ulkopuolella kulkeva käytävä tarvitsee. Hylly tulee myös sijoittaa kokonaisuudessaan robotin operaattorin puolelle, koska seinustalla robotin puolella on savukaasuimurin rakenteita ja lisäksi operaattorin työskentelyalue halutaan rajata vain toiselle puolelle solua.

Robotin käyttöä vaativien paneelien sijoitukseen tulee kiinnittää huomiota jo sen takia, että solun turvallisuus säilyy, mutta myös laadun takia eli turhien työvaiheiden ja liikkeiden poistamiseksi. Solussa tulee myös olla tarvittavat suojaverhot viimeistelijällä ja silloittajalla, jotka suojaavat valokaaren säteilyltä ja kipinöiltä. Suojaverhoksi soveltuu yleisesti käytetty tumma hitsaussuojaverho.

9 HITS AUSROBOTTISOLUN TOIMINNAN JATKOKEHITYS

Jatkokehityksen edellytyksenä on, että robottisolun toiminta täytyy saada toimimaan nykyisellä kokoonpanolla. Hyvä mittari, joka kuvaa robottijärjestelmän toimivuutta on käyttöaste, ja se tulisi saada nostettua hyvälle tasolle. Muutoin jatkokehitys olisi lähes turhaa, koska toimivaa pohjaa ei olisi. Toimivan pohjan rakentaminen vaatii lisää työvoimaa robottisolun toimintoihin tai sellaisia kehityskohteita, jotka vähentävät työvoiman tarvetta. Tällaisia kehittämisen arvoisia kohteita, joihin pystytään vaikuttamaan pienillä muutoksilla ovat:

- layout ja materiaalivirta
- robotilla hitsattavien tuotteiden määrittäminen
- viimeistely
- hitsaus- ja silloituskiinnittimet.

Kun toimiva pohja on kunnossa, olisi jatkokehitys toivottavaa suunnata robottisolun lisääautomisointiin kohti miehittämätöntä toimintaa. Osa ratkaisuista vaatii melko suuria investointeja, mutta toimiessaan ne ovat varsin palkitsevia. Hyviä kehityksen kohteita olisivat:

- hitsaus- ja silloituskiinnittimet
- railonseurannan mahdollisuudet
- apurobotin mahdollisuudet.

Tällaisilla toimilla saataisiin robottisolun vaatimaa työvoiman tarvetta pienennettyä ja vietyä solua kohti miehittämätöntä toimintaa, ollen yritykselle melkoinen kilpailukykyä lisäävä asia.

10 YHTEENVETO

Tämä tutkintotyö oli hyvin monipuolinen ja haasteellinen, koska yksistään jo työn määrittely antoi ison vapauden liikkua tämän aihealueen sisällä. Toisekseen työssä jouduin pohtimaan asioita hyvin monelta kannalta. Tämän johdosta tutkintotyöni määrittämien ongelmien ratkaisuksi ei ole yhtä ainoaa ratkaisua vaan se koostuu monen pienemmän osaratkaisun summasta, jotka parantavat robotin käyttöastetta. Näinhän se on myös todellisuudessa.

Työn tavoite oli kehittää robottisolun piensarjatuotantoa ja selvittää nykyisiä ongelmakohtia, joita robottisolun käytössä on ilmennyt. Työn suorittaminen jakaantui pääpiirteittään kolmeen osaan:

- ongelmakohtien selvittäminen ja nimeäminen
- ratkaisujen ideointi ja luonnostelu
- ratkaisujen luominen ja esittäminen.

Ongelmakohtien selvittämisessä keskityttiin kokemuksen perusteella niihin asioihin, jotka aiheuttavat suurimman osan työkuormasta ja laatuvirheistä, jotka vaativat korjausta tai kohtuullisen paljon jälkityöstöä. Näihin kohtiin on työssä esitetty parannusehdotuksia ja ratkaisuja. Eräs parannusehdotus koskee robottisolun layoutia ja materiaalivirtaa. Työssä onkin esitetty viisi eritasoista robottisolun layoutvaihtoehtoa, joista parhaiten soveltuvia kehitettiin viimeiseen layoutversioon. Jatkoa ja mahdollisen apurobotin käyttöä ajatellen versio 4 olisi toimivin, jolloin apurobotti sijoitettaisiin rullaratojen väliin.

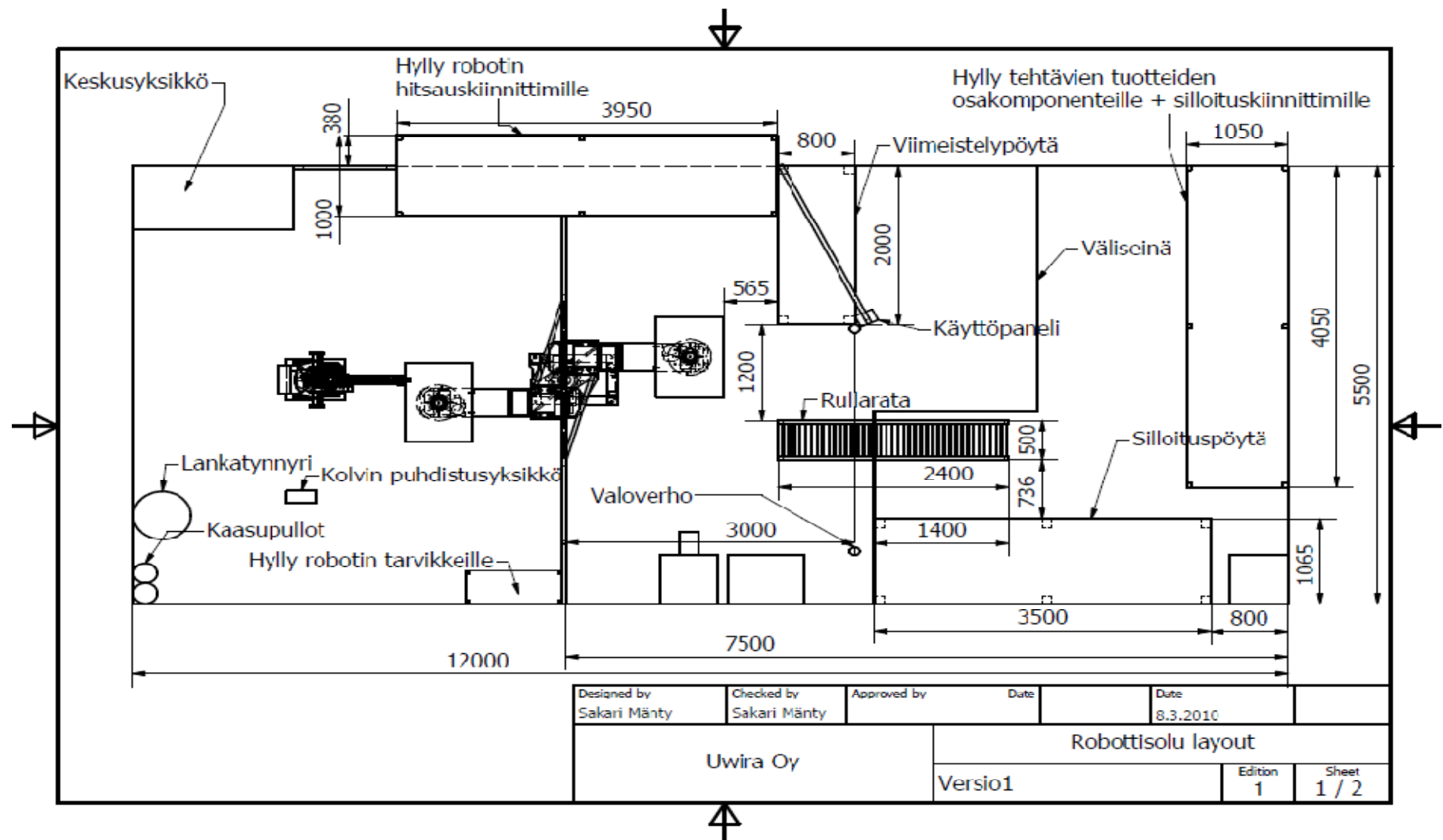
Jatkokehitystä ajatellen, työssä on esitetty myös erilaisia mahdollisuuksia ja vaihtoehtoja, joita on robotisoidulla hitsausjärjestelmällä sekä sellaisien hitsauskiinnittimien etuja ja säästöjä, jotka eivät vaadi etukäteen suoritettua silloitusta. Hitsauksen automasointi onkin nopeasti kehittyvä ala ja tässä kehityksessä olisi syytä pysyä mukana säilyttääkseen kilpailukykynsä.

LÄHDELUETTELO

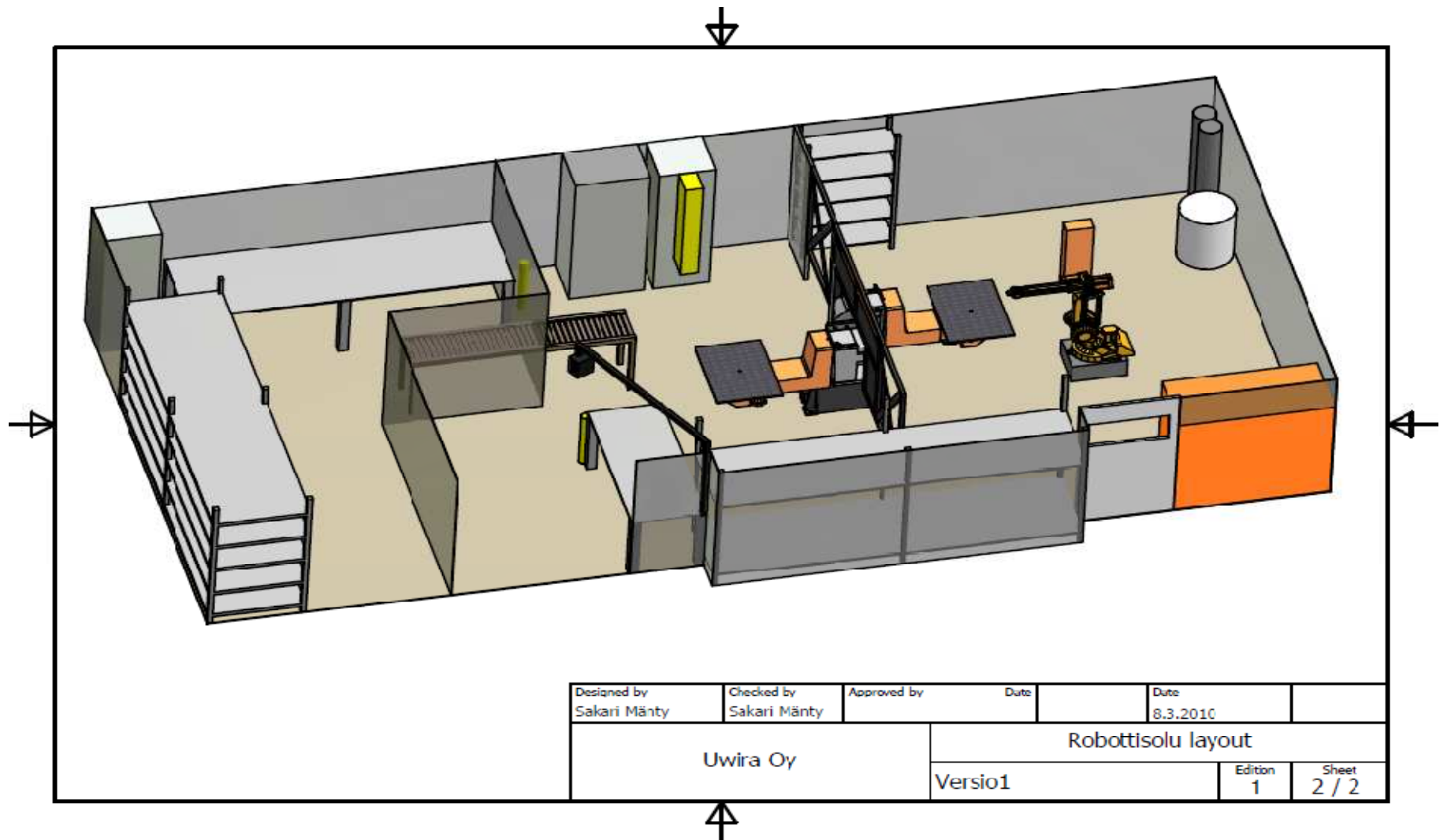
- /1/ Hamilton Nicolas, Iso-Kuortti Juha, Tutkintotyö: Etäohjelmoinnin hyödyntäminen ja kehittäminen raskaiden teräsrakenteiden robottihitsauksessa, TAMK, Tampere, 2002.
- /2/ Harju Ansa, Valpio Jaakko, Huhtala Veijo, Tauno Kilpeläinen, Teollisuustalous, VAPK-kustannus, Helsinki, Opetushallitus, 1986.
- /3/ Hietikko Esa, From Experience to Skill, HitSavonia-hankkeen loppuraportti, ISBN 978-952-203-067-2, 7/2007.
- /4/ Hiltunen Esa, Hitsaustekniikkaa suunnittelijoille, Hitsauksen automatisointimahdollisuuksien huomiointi, Lappeenrannan teknillinen yliopisto, 2005.
- /5/ Hiltunen Esa, Hitsausrobotit – langattomuutta ja laaduntarkastusta, Hitsaustekniikka, 6/2005.
- /6/ Hollamo, Kartan, Machine vision system-aided robot welding, Hitsaustekniikka, 5/2006
- /7/ Korhonen, Neuvonen, Kiinnittimien virtuaalisuunnittelu, Hitsaustekniikka, 6/1999.
- /8/ Koskinen Jussi, Tutkintotyö: Robotisoidun hitsaussolun toiminnankehittäminen, TAMK, 2007.
- /9/ Leino Kalervo, Ketterä hitsausautomaatio, Hitsaustekniikka, 6/1999.
- /10/ Lukkari Juha, perusteet ja kaarihitsaus, Hitsaustekniikka, 1997, ISBN 951-719-469-2.

- /11/ MET-julkaisuja, 16/88, MET-kustannus Oy, 1988.
- /12/ Pires J. Roberto, Loureiro Altino, Bolmsjö Gunnar, Welding Robots, Springer, Germany, 2006, ISBN 1-85233-953-5.
- /13/ Saatavilla www-muodossa:
<URL:<http://www.leinolatgroup.fi/Suomeksi/Uwira>>, 1/2010.
- /14/ Saatavilla www-muodossa: <URL:<http://fi.wikipedia.org/>>, Haku: Hitsaus, robotiikka, 1/2010.
- /15/ Teollisuusrobottitilastot, Suomen Robotiikkayhdistys Ry, 2008.
- /16/ Uusi-rauva, Haverila, Kouri, Teollisuustalous Tammer-paino, 2003.
- /17/ Veikkolainen Mikko, Hitsauksen robotisoinnin vaatimukset ja vaikutukset, Hitsaustekniikka, 6/1998.

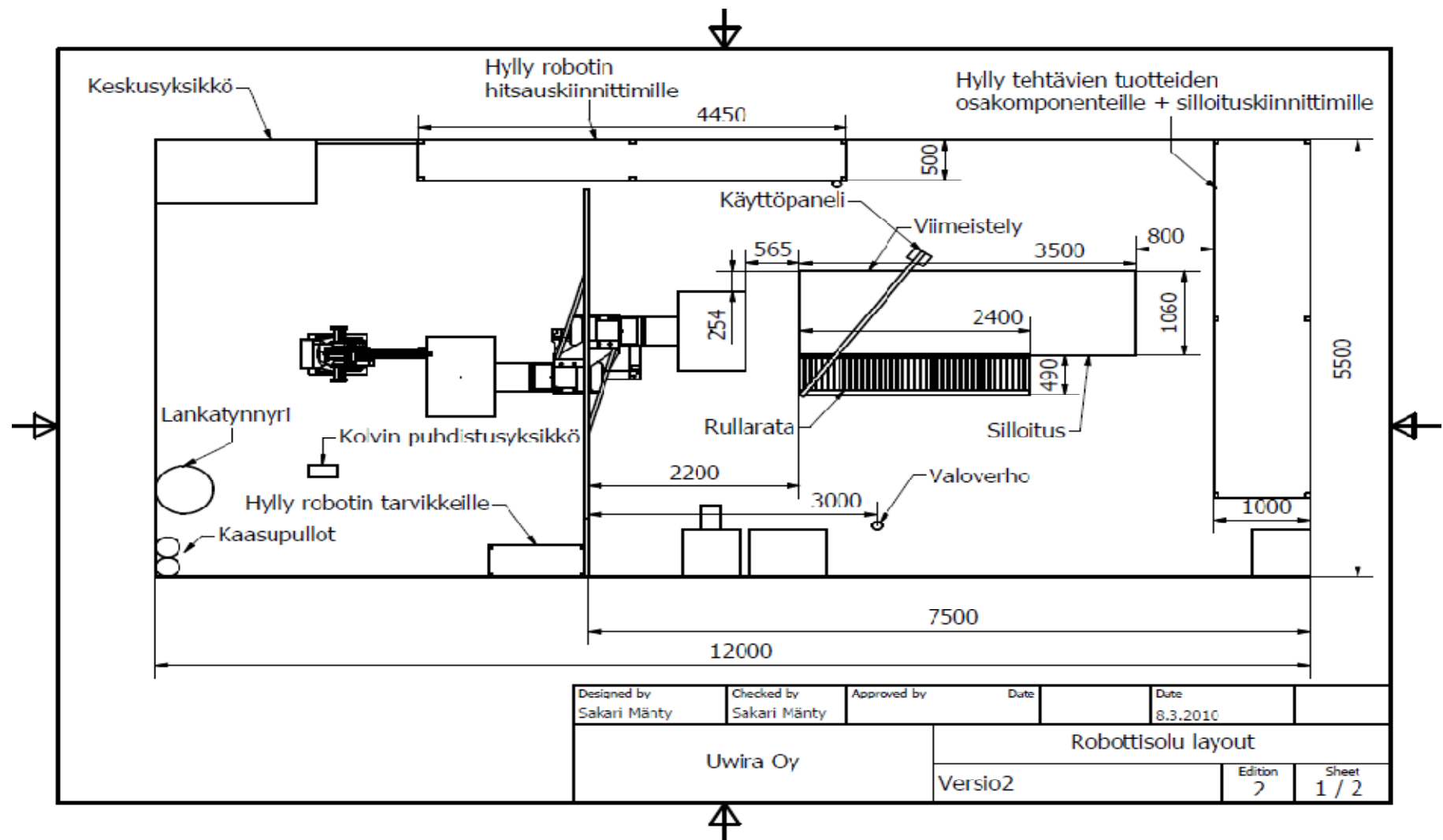
LIITE 1

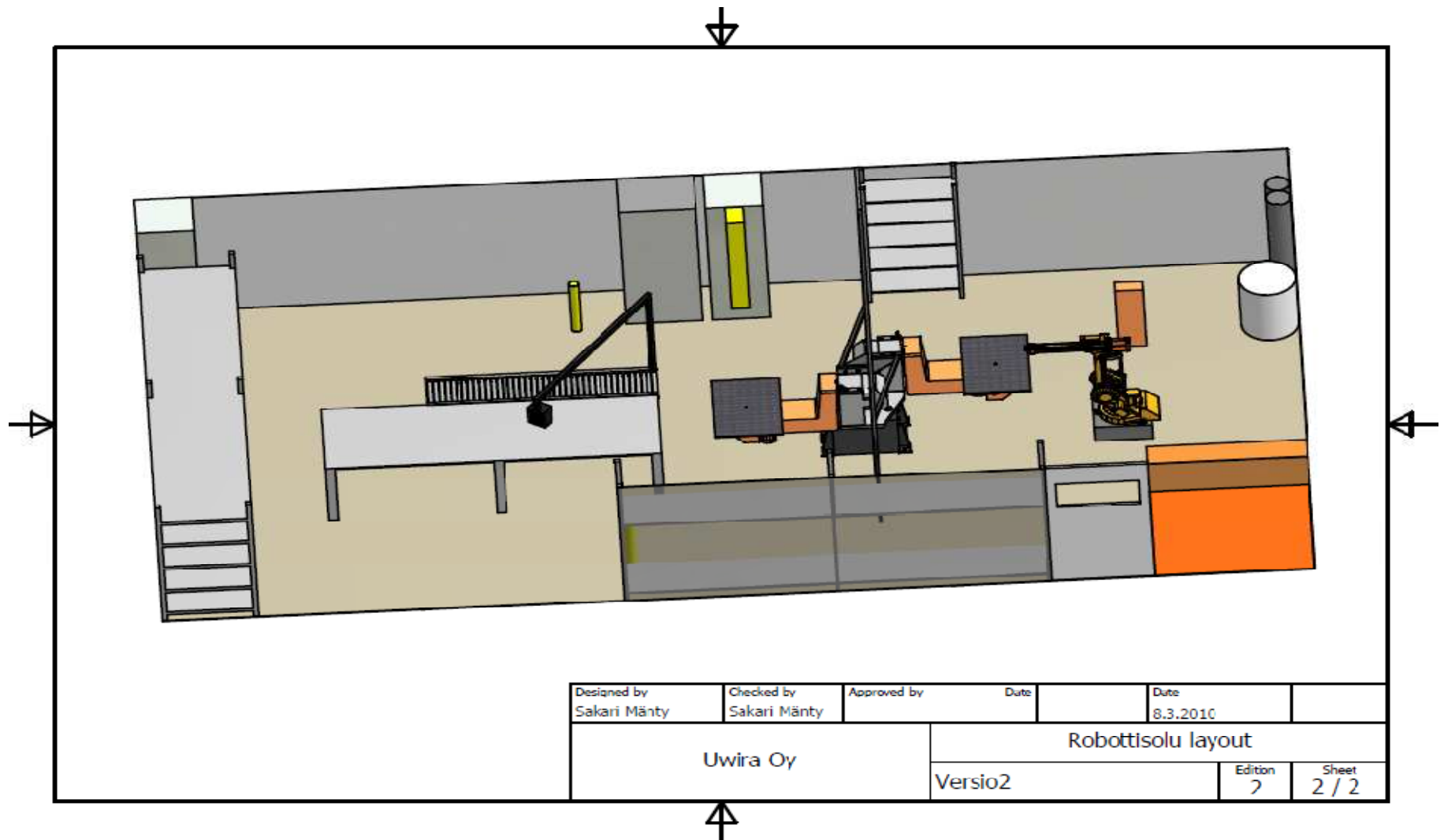


LIITE 1

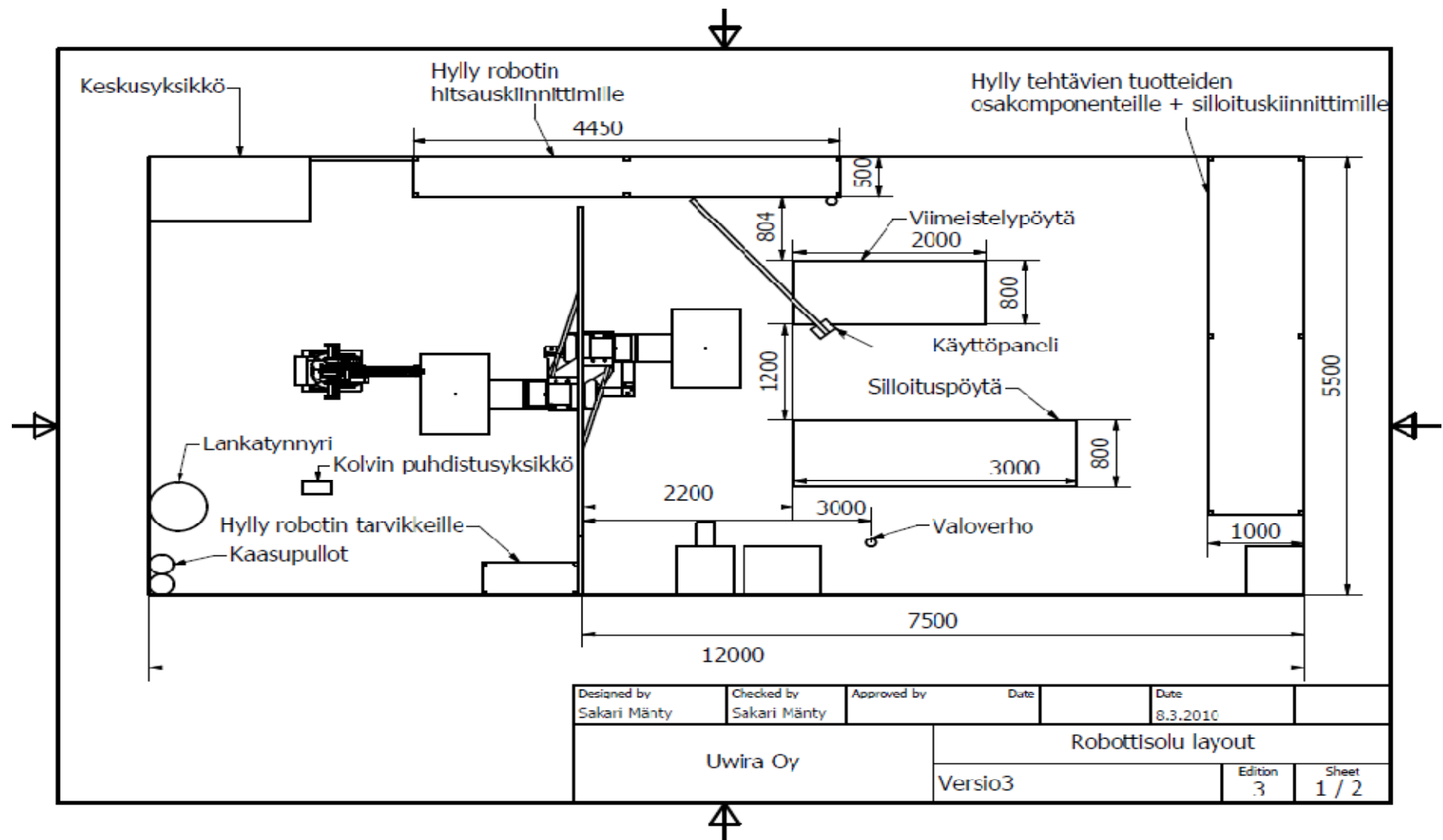


LIITE 2

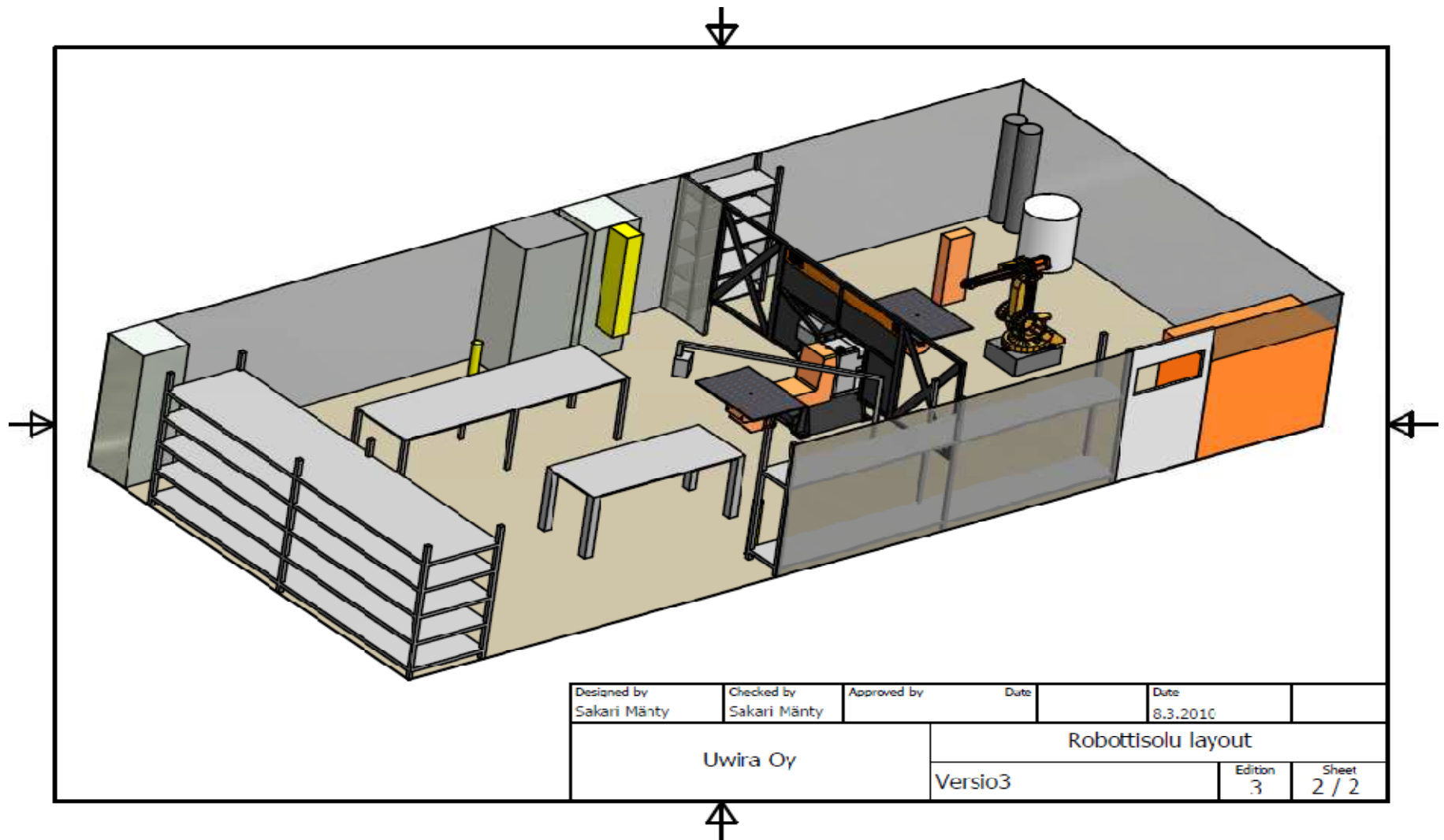




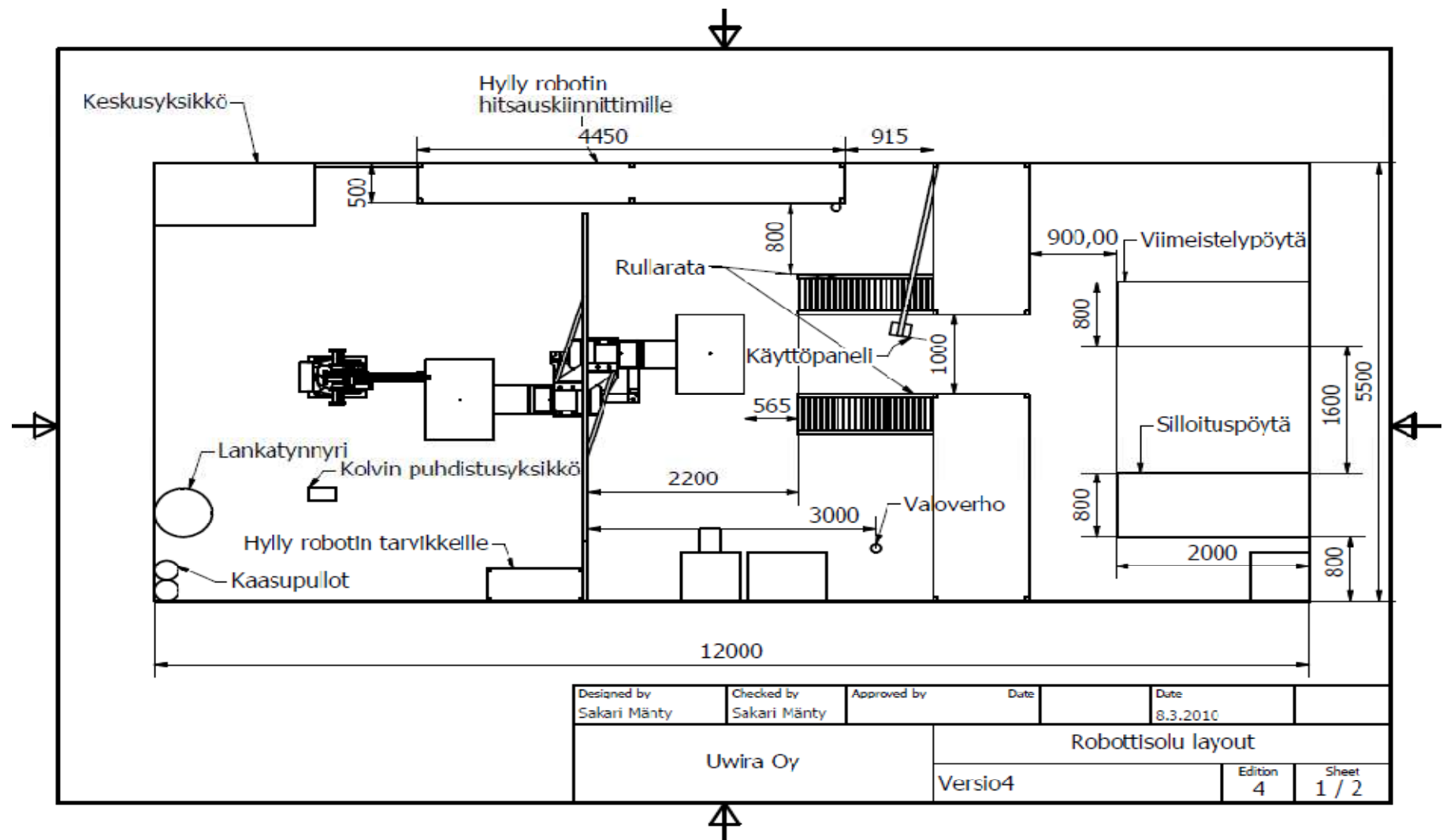
LIITE 3



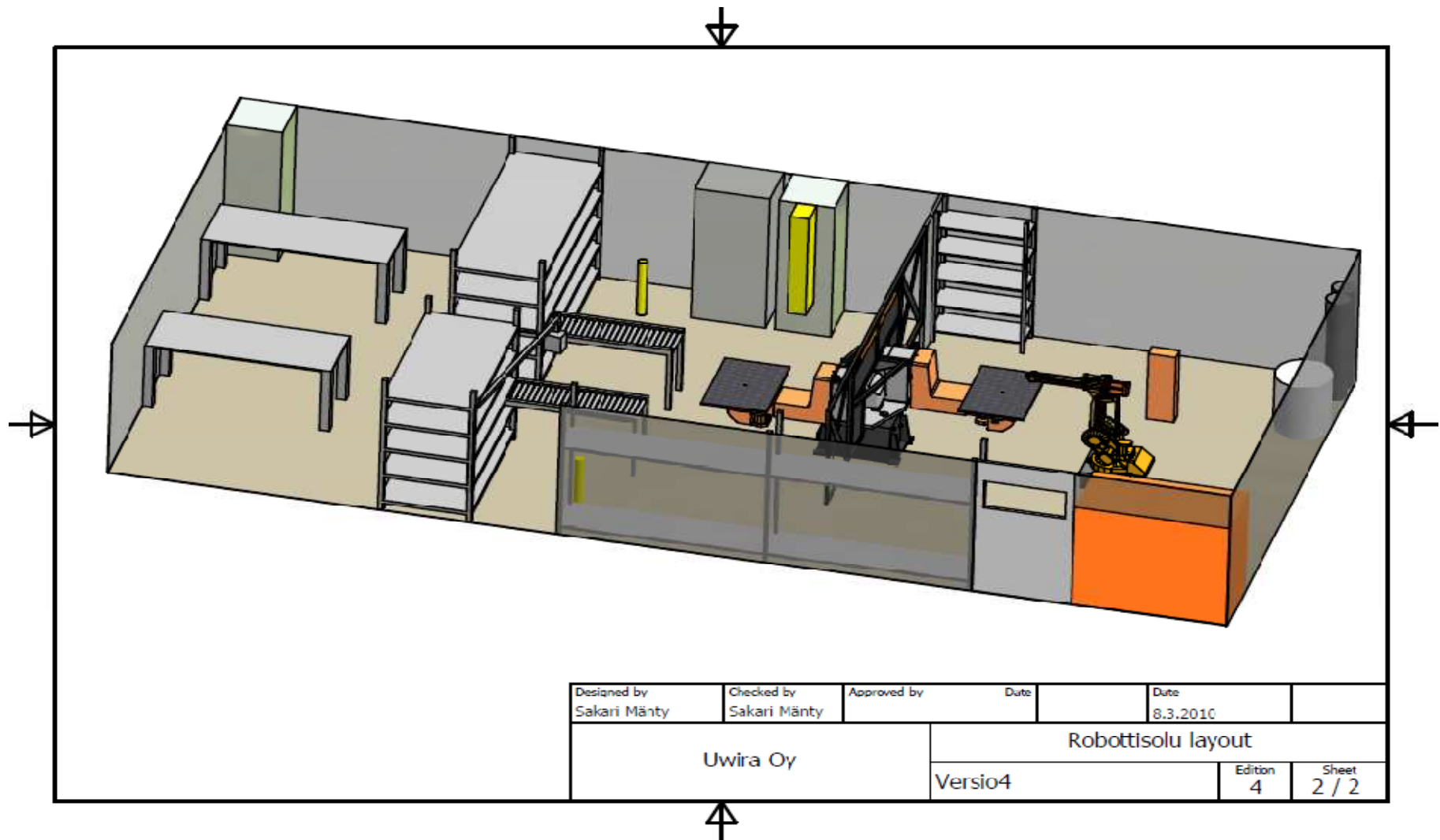
LIITE 3



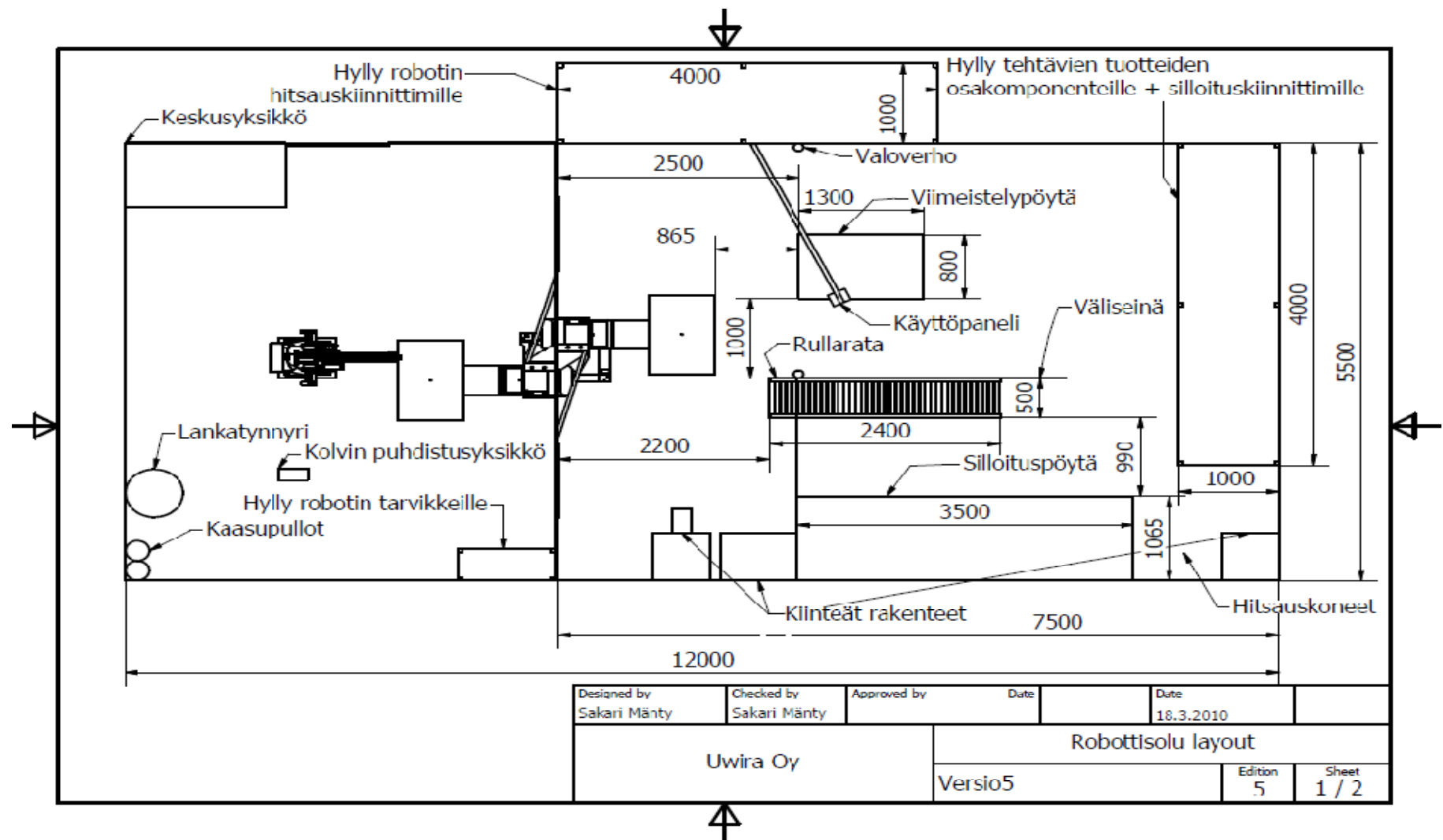
LIITE 4



LIITE 4



LIITE 5



LIITE 5

